

# ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN CON TÉCNICAS BLANDAS EN LA PLAYA DE GAVÀ EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE GAVÀ

## INFORME

DOCUMENT NÚM. 1 MEMÒRIA I ANNEXOS

## AUTORS DEL PROJECTE

JAVIER SOLÍS DELFÍN  
ENGINYER DE CAMINS, CANALS I PORTS



## DATA DE REDACCIÓ

DICIEMBRE 2016

EXEMPLAR NÚM. 1





# Memoria

*ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN CON TÉCNICAS BLANDAS EN LA PLAYA DE GAVÀ EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE GAVÀ*

DATA	01/12/2016
FITXER	D:\IGC_Gavà\Informe\Anàlisis y proteccion de la Playa de Gavà v5.docx
REVISIÓ	Vo.7



# Memoria

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN CON TÉCNICAS BLANDAS EN LA PLAYA DE GAVÀ  
EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE GAVÀ

## Índice

1	Introducción .....	4
2	Descripción del ámbito de estudio .....	5
3	Determinación del oleaje extremal a profundidades indefinidas.....	5
4	Determinación del oleaje extremal a profundidad de cierre.....	8
5	Clima medio .....	15
6	Características sedimentológicas .....	16
7	Diagnóstico de la Playa de Gavà .....	16
8	Evolución histórica.....	17
8.1	Zona 1 .....	19
8.2	Zona 2 .....	20
8.3	Zona 3 .....	20
8.4	Zona 4 .....	21
8.5	Comparación sectores .....	22
9	Medidas correctoras y prognosis.....	22
10	Batimetría .....	24
11	Modelado numérico.....	25
11.1	Descripción del modelo numérico.....	25
11.2	Datos de entrada .....	27



11.2.1 Condiciones de contorno .....	27	12 Conclusiones.....	32
11.3 Resultados .....	28	13 Anejos .....	33
11.3.1 Estado actual .....	29	14 Bibliografía .....	33
11.3.2 Propuesta de dique sumergido .....	32		

## 1 Introducción

El presente estudio versa sobre el **diagnóstico a largo plazo de las playas de Gavà y la propuesta de medidas correctoras**. Este análisis se fundamenta en la morfodinámica litoral, es decir, en los procesos de transporte de sedimento que tienen lugar cerca de la línea de costa. Como estudio previo de mayor relevancia debe citarse *“Proposta per al predisseny de solucions tipus per a establitzar les platges del municipi de Gavà”*, llevado a cabo por la UPC en 2015 (Agustin Sanchez-Arcilla & Garcia 2015) y precedido por estudios anteriores llevados a cabo el mismo grupo en el mismo ámbito (CIIRC 2010, CIIRC 2012).

En los ámbitos litorales se distinguen esencialmente dos procesos morfodinámicos, el longitudinal a la costa y el transversal. El primero mueve grandes masas de sedimento a lo largo de la costa, sedimentando o erosionando grandes áreas. Responde a los regímenes dominantes de la costa, tanto en corriente como en oleaje.

Los procesos transversales transportan sedimento de una parte del perfil de la playa a otra (p.e. de orilla a interior). Suponen la respuesta de la playa a los temporales que llegan. En general con estos procesos no debería existir una pérdida global de material, sino únicamente una redistribución.

Un ejemplo característico es la evolución que sufre el perfil de playa entre las temporadas estivales y las invernales. La Figura 1 recoge un esquema de los cambios que operan de comúnmente en la forma de las playas. El perfil representado en la imagen inferior se corresponde con el observado después de un temporal. Dado que en invierno los temporales son más comunes es el esperable en una batimetría realizada en los meses invernales.

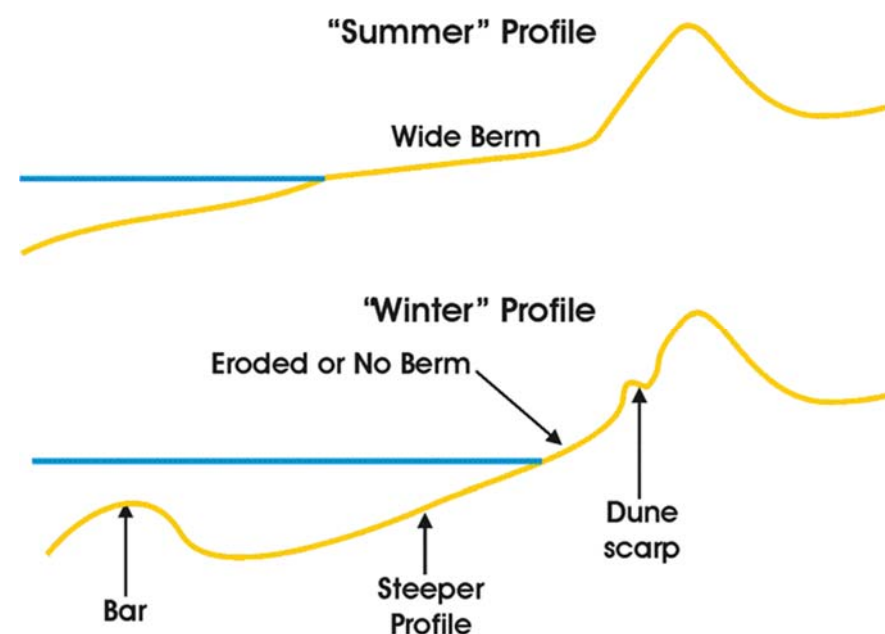


Figura 1. Evolución estacional del perfil de playa.

En esencia los temporales deberían arrastrar parte del sedimento de la duna hasta la parte sumergida de costa, pero los periodos calmos deberían restituirlo a la zona emergida de forma que se trata de un proceso cuasi estacionario donde la arena sigue un ciclo cerrado, sin perderse. La línea que delimita la parte del perfil donde ocurre este ciclo se denomina profundidad de cierre, por lo tanto los procesos transversales no deberían movilizar el sedimento más allá de la profundidad de cierre.

El análisis a largo plazo pretende establecer las dinámicas de pérdida o ganancia de sedimento, de manera que, si las descripciones anteriores son correctas, las corrientes longitudinales son las protagonistas. Puede darse el caso de que en condiciones antrópicas los temporales sean capaces de llevar la arena más allá de la profundidad de cierre, de forma que se pierda en las profundidades y se de una erosión paulatina. Por ejemplo si se hace una aportación de sedimentos con una granulometría excepcionalmente fina esta no cumplirá las condiciones de equilibrio del perfil característico para esa playa en concreto.

Así que la primera parte del diagnóstico consiste en establecer si existe una tendencia sostenida de erosión o si por el contrario se trata de un proceso periódico asociado a temporales y por ello sujeto a ciclos erosión-restitución. Asumiendo que en el primer caso la dinámica longitudinal es la responsable y en el segundo la transversal. En el caso de que los retrocesos de playa sean los asociados a dinámica transversal las condiciones climáticas relevantes son los regímenes denominados “extremales” (temporales). En el caso de que la dinámica dominante sea la longitudinal las condiciones climáticas relevantes son las denominadas “dominantes”.

Para la dinámica longitudinal los procesos de cálculo son conceptualmente sencillos, el avance o retrocesos de la línea de costa se debe al imbalance en el transporte, esto es, definido un sector de playa lo que entra por un lado es diferente a los que sale por el otro.

De forma que este cálculo requiere la cuantificación de transporte de sedimento a través de varias secciones transversales a la playa, cuando se produzca un cambio significa que el tramo comprendido entre ambas secciones está desequilibrado. Si entra más de lo que sale la playa crecerá, de lo contrario estará en retroceso.

A pesar de que conceptualmente parezca sencillo existen importantes retos técnicos. La evaluación cuantitativa del transporte de sedimentos posee una incertidumbre muy importante, llegando a ser de órdenes de magnitud.

Por otra parte las condiciones hidrodinámicas que generan este transporte se han definido como “las dominantes”. Sobre esto también existe una complejidad muy importante. No existe una formulación única para convertir una serie de oleaje en su valor “dominante”. Se pueden usar métodos basados en el flujo de energía, en la distribución estadística de las direcciones o en el valor espectral, todos ellos arrojarán resultados diferentes. Parecería que el método paradigmático sería la simulación a largo plazo, es decir resolver el transporte real durante periodos muy largos (unos 50 años) y al final del proceso calcular el flujo de sedimentos medio.

Por todo lo dicho anteriormente se escoge un ámbito de estudio amplio, situado en la costa Sur de Barcelona y que incluye las playas en estudio.

El informe en su estado actual no contempla posibles restauraciones de playas que se hayan producido en los últimos años y que hayan condicionado los resultados.

## 2 Descripción del ámbito de estudio

La costa Sur de Barcelona posee algunas características claramente contrapuestas a la costa Norte. En conjunto se puede decir que el tramo que incluye la playa de Gavà, que va desde la desembocadura del Río Llobregat hasta el macizo del Garraf, está menos perturbado que el equivalente que discurre al Norte del Río Besòs. Desde el punto de vista morfodinámico la playa se sitúa dentro de la unidad fisiográfica litoral número 8 de la costa catalana (CIIRC 2010), que va desde Port Ginesta al Sur hasta el desvío del Río Llobregat al Norte. El código de la playa en el "Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya" (CIIRC 2010) es el BLGA030.

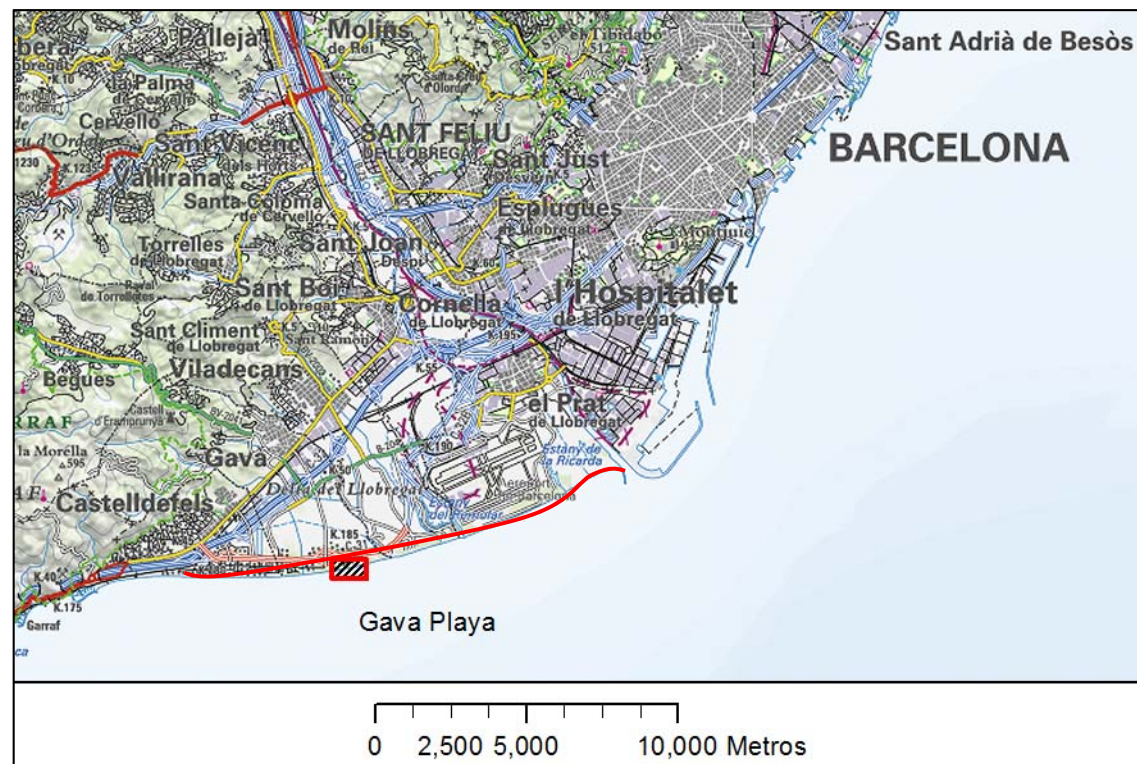


Figura 2. Plano de situación del ámbito en estudio.

En la Figura 2 se puede ver un plano de situación de la zona en estudio. El rectángulo rojo enmarca las playas de Gavà objeto de análisis. De la misma forma la línea roja indica el ámbito seleccionado para estudiar, desde la desembocadura del Río Llobregat hasta el macizo del Garraf. Los efectos locales se deben contextualizar en un dominio mayor y por ello se amplía el ámbito.

La Figura 3 recoge una imagen de mayor detalle del tramo de las playas de Gavà que se pretende analizar. Puede verse que se trata de algo más de 1 km.

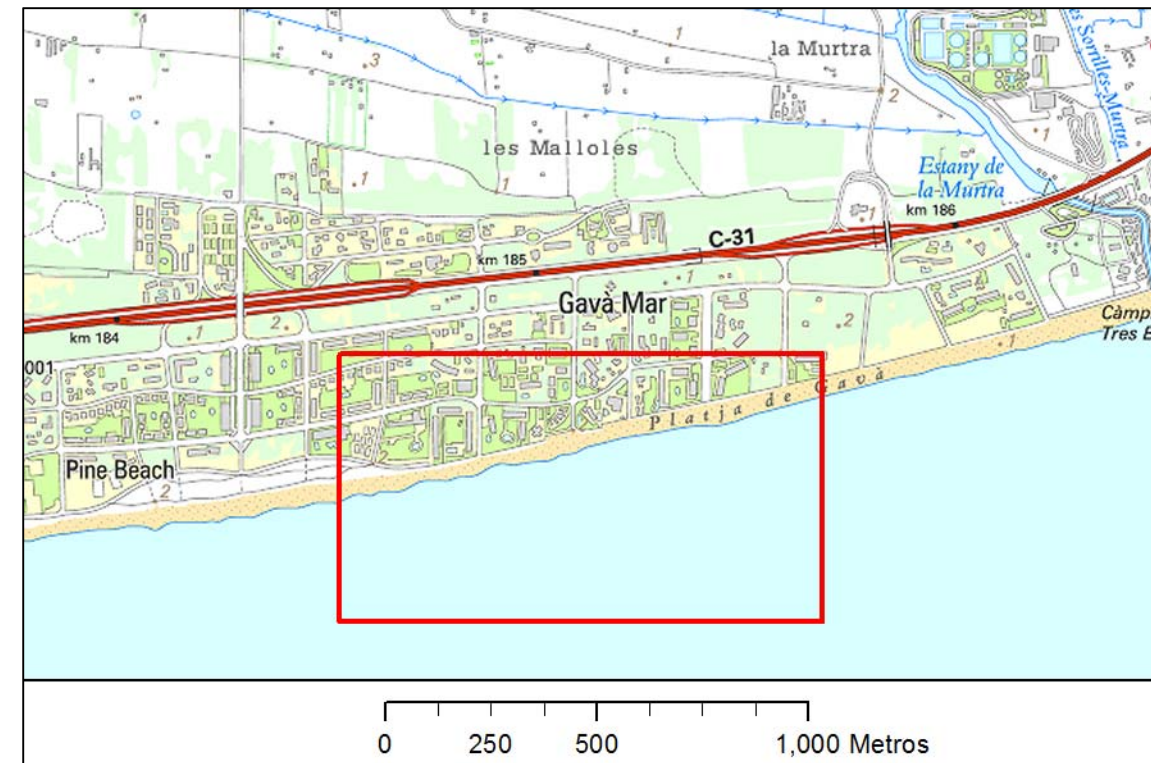


Figura 3. Plano de detalle del ámbito.

En el tramo Sur citado no existe ningún puerto que interrumpa la corriente litoral, de forma que cabe suponer que las aportaciones de sedimento del Río Llobregat pueden alcanzar libremente esa parte del litoral en forma de corrientes longitudinales a la playa. Si bien es cierto que la macro infraestructura del Puerto de Barcelona ha extendido su área de influencia hasta llegar a desplazar artificialmente la desembocadura del Río Llobregat.

En principio es de esperar entonces que la morfodinámica observada, en el caso de poseer desequilibrio, sea debido a las modificaciones en las aportaciones sedimentológicas del río y no a la ejecución de estructuras litorales.

## 3 Determinación del oleaje extremal a profundidades indefinidas

El clima marino es el responsable de dar las condiciones que movilizan el sedimento, así que es el principal catalizador de la dinámica litoral. Establecer correctamente las variables climáticas es un paso previo necesario

para poder determinar la evolución de la playa. En este sentido clasificamos las medidas de clima en dos grupos, las correspondientes a profundidades indefinidas y las correspondientes a profundidad de cierre.

Profundidades indefinidas es una condición en la que el oleaje sólo se ve afectado por las condiciones en la superficie, sin haber "efecto fondo". Las olas no perciben la proximidad del fondo y se desarrollan en base a las condiciones de viento o la variable desencadenante.

A profundidad de cierre el oleaje ha sufrido procesos de refracción importantes por la presencia del fondo, además de la refracción son comunes procesos de difracción por obstáculos, reflexión por la línea de costa o rotura por efecto del peralte de ola. Todo ello hace que los valores medidos bajo ambas condiciones sean notablemente diferentes.

Dado que las condiciones a profundidades indefinidas son independientes de la batimetría resultan mucho uniformes y homogéneas que a profundidad de cierre. Por ello la práctica común es tomar datos a estas profundidades, así que la mayor parte de las boyas de toma de datos están situadas a profundidades indefinidas.

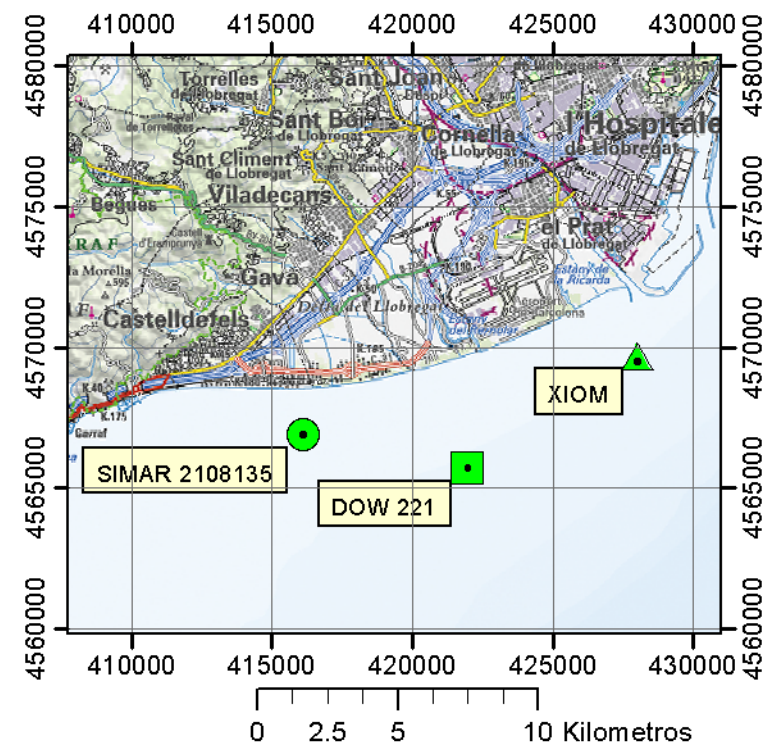


Figura 4. Localización de puntos de datos a profundidades indefinidas.

De manera que en los cálculos costeros existe una tarea previa que es la traslación de los datos desde profundidades indefinidas hasta la región costera. Este proceso se denomina "propagación" y se suele hacer con modelos numéricos como SWAN, OLUCA, REF-DIF...

En el caso de alimentar los cálculos costeros con datos a profundidades indefinidas debe corregirse la dirección y la altura de ola. La dirección adopta generalmente un valor casi normal a la costa y el oleaje experimenta rotura debido a la baja profundidad, por lo tanto pierde energía y altura.

En el ámbito de estudio se han identificado tres fuentes de datos a profundidades indefinidas: Un punto SIMAR, un punto DOW y una boya XIOM. Los dos primeros corresponden a boyas virtuales provenientes de modelado numérico. El punto XIOM se corresponde a una boya real ubicada en la desembocadura del Río Llobregat. La Figura 4 representa la posición en planta de los tres puntos. La Figura 5 representa el punto SIMAR y su posición respecto al ámbito de estudio. Puede apreciarse que las distancias entre los datos y la zona en estudio es del orden de kilómetros

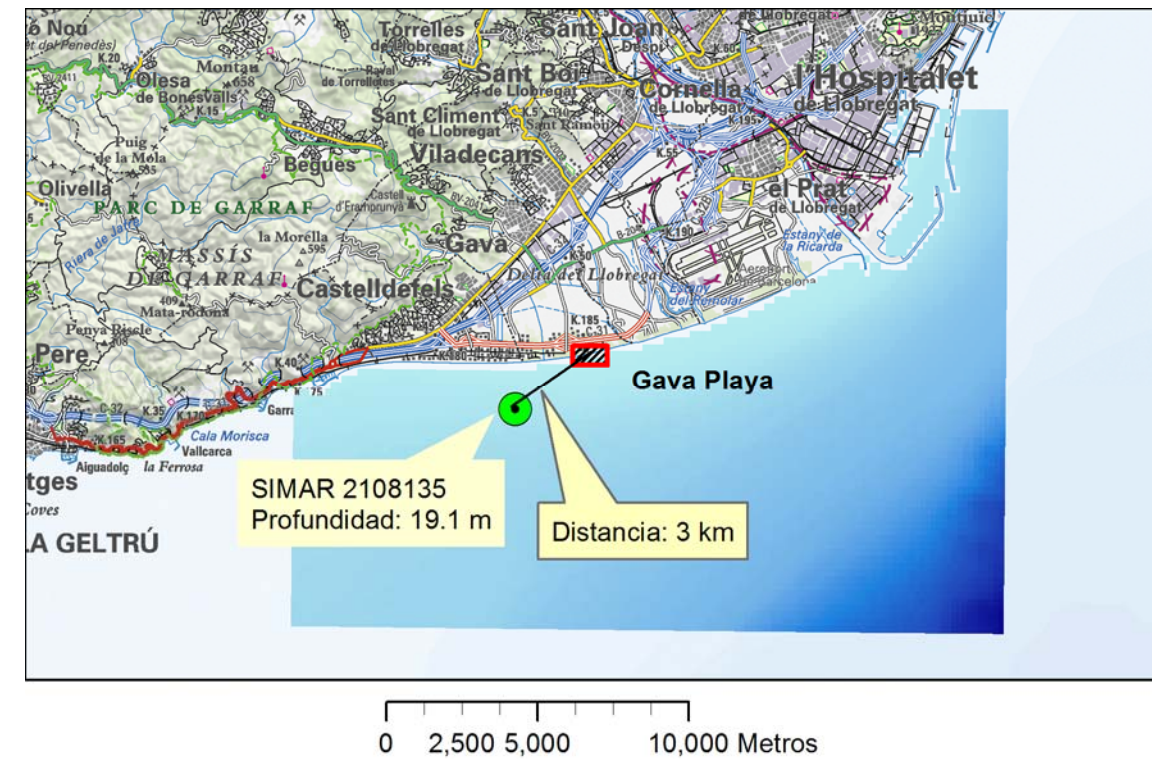


Figura 5. Posición y datos relativos al punto SIMAR 2108135.

Cada uno de los puntos de datos aporta valores a las alturas de ola, las direcciones, el periodo y la frecuencia, por lo tanto cada una de ellas es susceptible de usarse para determinar el clima marino. En este caso la comparación entre ellas aporta una discusión crítica de la calidad de las medidas.

La Tabla 1 recoge los valores obtenidos para los ajustes de extremos realizados sobre los datos de las diferentes fuentes disponibles. De todos ellos el más representativo debería ser el de la red XIOM ya que se trata de la única boya real, el resto son resultados numéricos.

Se puede apreciar como los valores de la red DOW de IH Cantabria son siempre superiores a los de la boya real y los valores de la red SIMAR de Puertos del Estado siempre inferiores.

Tabla 1. Valores extremales para profundidades indefinidas.

Tr (años)	Hs (m)		
	XIOM	DOW	SIMAR
2	3.73	4.15	2.97
5	4.17	4.82	3.46
7	4.32	5.02	3.61
10	4.47	5.22	3.75
15	4.65	5.42	3.91
25	4.86	5.66	4.09
37	5.02	5.84	4.2
50	5.14	5.96	4.31
70	5.27	6.10	4.41
100	5.41	6.24	4.51
150	5.56	6.38	4.62
200	5.67	6.49	4.70
300	5.82	6.62	4.80
500	6.01	6.78	4.92

Las diferencias oscilan entre el 15 y el 20%. Por todo ello los valores considerados como más representativos del clima extremal son los correspondientes a la red XIOM. Puede verse como las olas esperables para temporales de 10 años de periodo de retorno pueden tener 4.5 m a profundidades indefinidas, que debe recordarse que no son las que llegan a la línea de costa ya que deben propagarse.

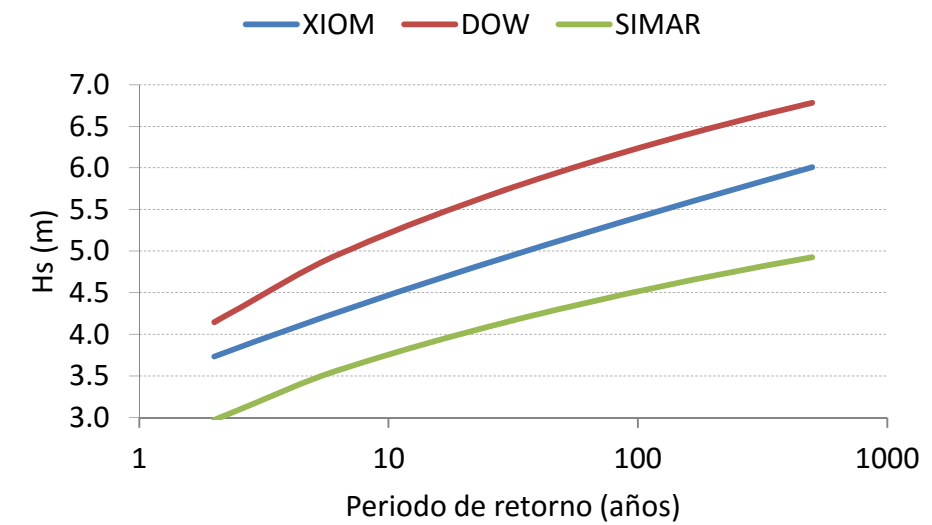


Figura 6. Gráfico de las alturas de ola significativa asociadas al régimen extremal a profundidades indefinidas para las tres series disponibles.

La Figura 6 recoge las curvas asociadas a cada una de las tres boyas (virtuales y reales). Puede verse como las pendientes son pequeñas, siendo los valores de 50 años de periodo de retorno un 10 o 15% superiores a los de 10. El problema está por lo tanto mal condicionado, los errores de precisión tienen una influencia importante.

Para los niveles del mar extremales existen dos fuentes de información, el mareógrafo del Puerto de Barcelona y la red C3E de IH Cantabria. La primera usa un ajuste de tipo Weibull-Poisson y la segunda un Pareto-Poisson.

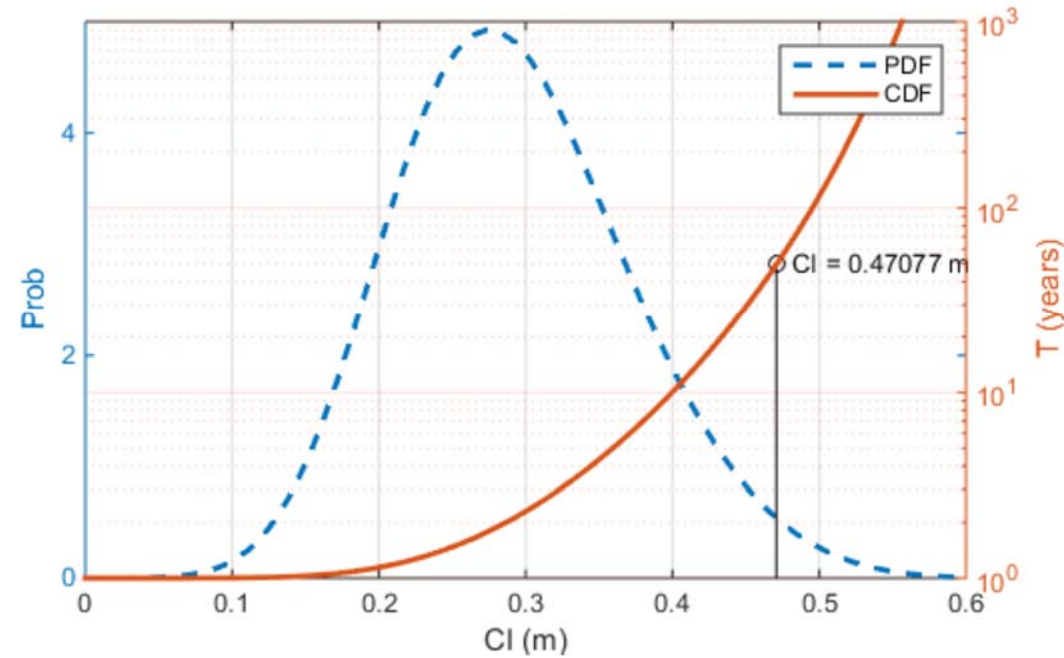


Figura 7. Ajuste estadístico de extremos de marea (CI) según C3E de IH Cantabria, para el Punto 221 de la red.

La Figura 7 presenta el ajuste obtenido dentro del proyecto C3E de IH Cantabria para el Punto 221 (representado en la Figura 4 como DOW 221), únicamente para marea meteorológica. Los datos del ajuste son:

$$u = 0.223 \text{ m}, \sigma = 0.081 \text{ m}, \xi = 0.223 \text{ m}, \lambda = 1.379 \text{ m} \quad (1)$$

Para contrastar estos datos se usan los del Mareógrafo del Puerto de Barcelona, procesados por Puertos del Estado. La Figura 8 presenta ambos ajustes. Se puede ver claramente como los resultados son notablemente diferentes, fundamentalmente porque los datos de C3E corresponden sólo a la marea meteorológica. La función de distribución estadística proporcionada por Puertos del Estado se alimenta con valores medidos en cm no en m como la de C3E.

Según los datos del mareógrafo los máximos temporales anuales ya alcanzan los 0.4 m, por lo tanto en condiciones de 1 año de periodo de retorno ya deberíamos tener ese valor. Si a los datos de C3E se les suma ese valor para inducir el efecto de la marea astronómica y el valor medio del mar en Barcelona mejora notablemente la correspondencia entre ambos.

Dado que los datos suministrados por Puertos del Estado provienen de una medida real se les otorga una mayor credibilidad y por lo tanto son los usados en este estudio.

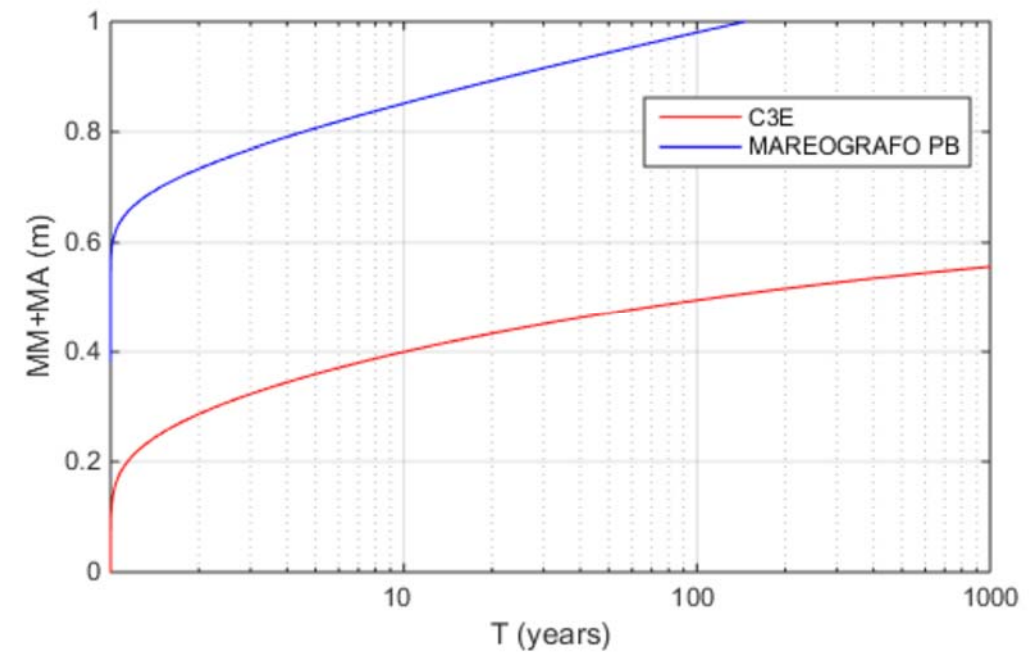


Figura 8. Comparación de las mareas extremas según el Mareógrafo del Puerto de Barcelona y según la red C3E (DOW) de IH Cantabria en su punto 221.

Los periodos de pico asociados al clima extremal se establecen en 10 segundos, siendo uno de los datos medidos que presenta mayor dispersión estadística.

#### 4 Determinación del oleaje extremal a profundidad de cierre

Tal y como se ha descrito en apartados anteriores, la dinámica litoral viene regida por todo lo que ocurre a partir de la profundidad de cierre, por lo tanto determinar las condiciones en ese punto resulta importante. A partir de los máximos temporales ordinarios (oleaje superado 12 horas al año  $H_{S12}$ ) se ha fijado la profundidad de cierre en 2.9 metros, dada la pendiente extremadamente baja de estas playas ese punto se sitúa a unos 300 metros de la línea de costa.

Muchas son las cosas que le ocurren al oleaje desde profundidades indefinidas hasta el punto de profundidad de cierre. Es importante realizar una caracterización adecuada de la transformación ocurrida e identificar los valores correctos asociados al clima extremal. Podríamos decir que la magnitud que se mejor se conserva a lo largo de la transformación del oleaje es el periodo. La dirección y la altura de ola se ven profundamente afectadas.

La Figura 9 recoge una rosa de oleaje a profundidades indefinidas correspondiente al punto SIMAR. La playa está orientada a S-SE, de manera que, en la imagen se aprecia como la mayor parte de los temporales provienen otros rumbos, en este caso de E o de S-SO.

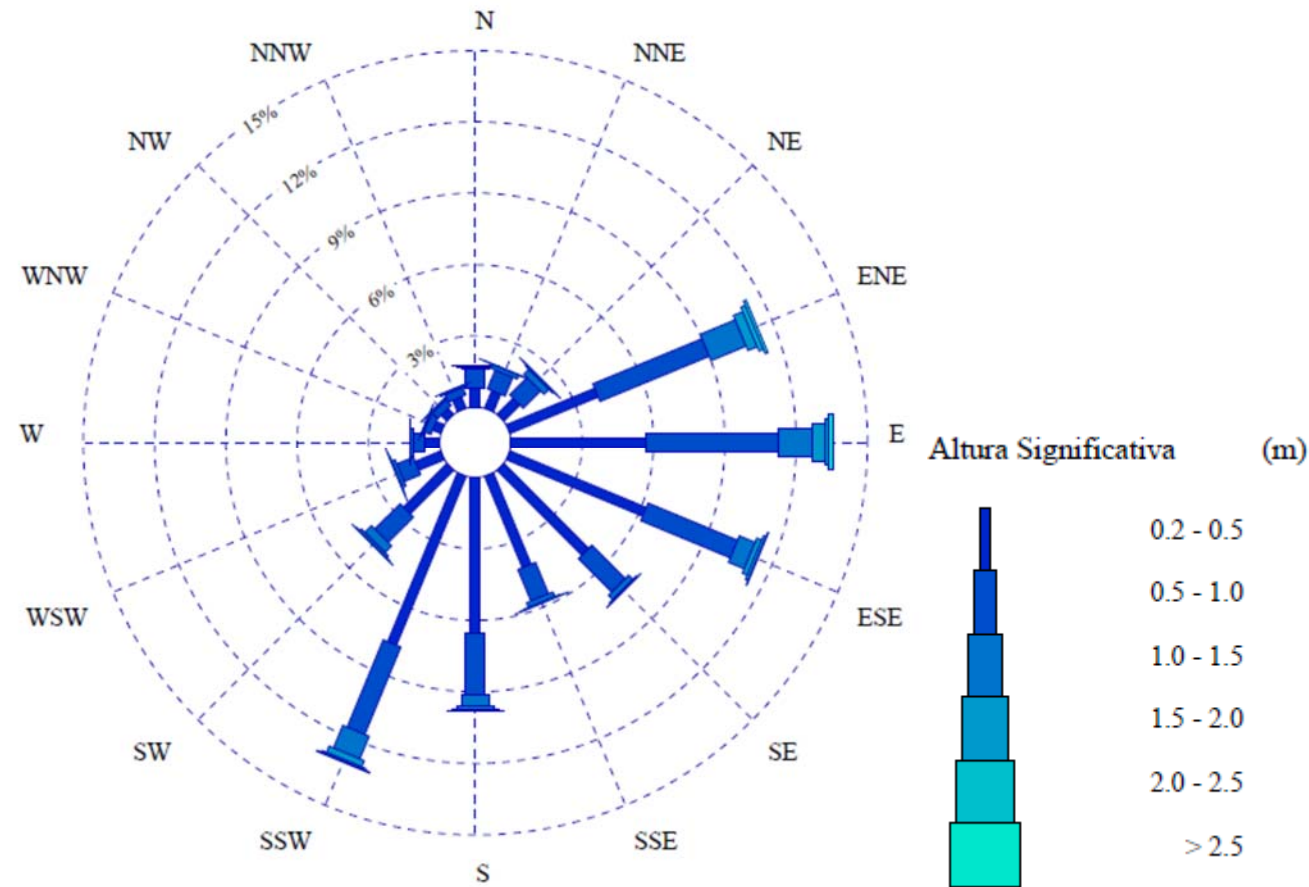


Figura 9. Rosa de oleaje del Punto SIMAR de la red de Puertos del Estado.

Pero esto no significa que las olas alcancen la playa de forma oblicua, sino que éstas sufren una importante transformación en su dirección antes de llegar a la línea de costa, denominada refracción y asociada al efecto fondo. La Figura 10 recoge un ejemplo muy claro de este proceso. Se trata de la playa de Terramar en Sitges (Barcelona). En la imagen se aprecia como las olas ajustan perfectamente al perfil de la línea de playa.

No se trata de un efecto de difracción de la bocana de la playa sino un efecto de refracción asociado a las pendientes de la batimetría. Este fenómeno es el que permite que las diferentes tormentas ocurridas en aguas profundas acaben incidiendo de forma perpendicular a la línea de playa.

La Ley de Snell de la refracción óptica es una buena descripción del fenómeno. Tiene su origen en el cambio de velocidad en la propagación de las ondas, esta velocidad para ondas se denomina celeridad de fase  $C_p$  y depende de la longitud de onda  $L$  :

$$C_p = \frac{L}{T} \quad (2)$$

Donde  $T$  es el periodo. Tal y como se ha citado anteriormente el periodo sufre una alteración menor que la longitud de onda que se puede expresar como:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (3)$$

Donde  $h$  es la profundidad, debe notarse que se trata de una ecuación implícita en  $L$  que puede solucionarse por métodos numéricos. Fijada una profundidad y un periodo sólo hay una celeridad y longitud de onda compatibles. Calculada la longitud de onda y celeridad a una cierta profundidad y a otra diferente se puede estimar la curvatura de los rayos (refracción), expresada como su ángulo de incidencia  $\theta$  en la línea batimétrica:

$$\frac{\sin \theta}{C_p} \Big|_1 = \frac{\sin \theta}{C_p} \Big|_2 \quad (4)$$

De forma que cuando los rayos no inciden de forma totalmente perpendicular sufren un giro al modificarse la celeridad. Es cuando hay cambios importantes en la celeridad cuando se observa el fenómeno. Estos cambios no se dan a profundidades indefinidas sino en aguas someras, siendo necesario tener una batimetría detallada.

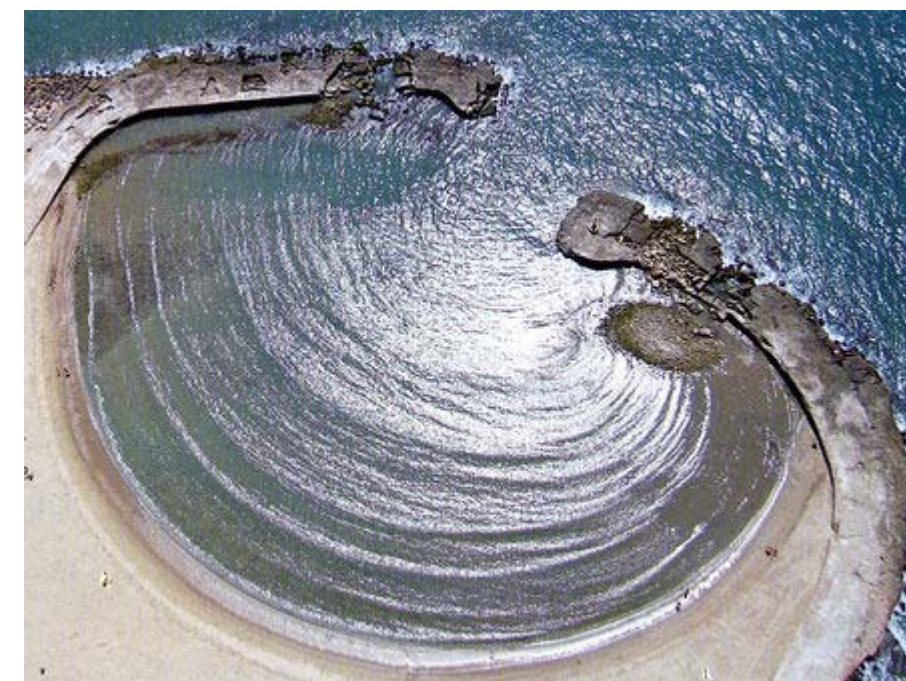


Figura 10. Playa de Terramar en Sitges.

Como muestra adicional de este proceso se ha realizado una simulación específica con la batimetría del ámbito de estudio. Para esta simulación se utilizó el modelo REF/DIF (Kirby & Dalrymple 1983), especialmente

adaptado al cálculo de refracción en oleaje. Éste modelo es una referencia absoluta porque fue capaz de modificar la ecuación de *mild slope* (5) incorporando términos de difracción y de interacción con las corrientes.

$$\nabla_h \cdot (C_p C_g \nabla_h \eta) + \sigma^2 \frac{C_g}{C_p} \eta = 0 \quad (5)$$

Donde  $C_g = C_p / 2(1 + 2kh / \sinh(2kh))$ . El modelo REF-DIF es monocromático, por lo que trabaja con una única frecuencia y únicamente admite condiciones de contorno Dirichlet en uno de sus lados, despreciando el efecto de las ondas reflejadas o lo que es lo mismo únicamente adecuado para playas disipativas. A pesar de todas sus bondades no es un modelo adecuado para el desarrollo completo de este estudio porque no posee capacidades morfodinámicas.

Utilizando este modelo y con el fin de evidenciar la refracción de las ondas se ha simulado un oleaje de actuando sobre la batimetría disponible, recogida en la Figura 11 (izquierda), se trata del frente de la playa de Gavà.

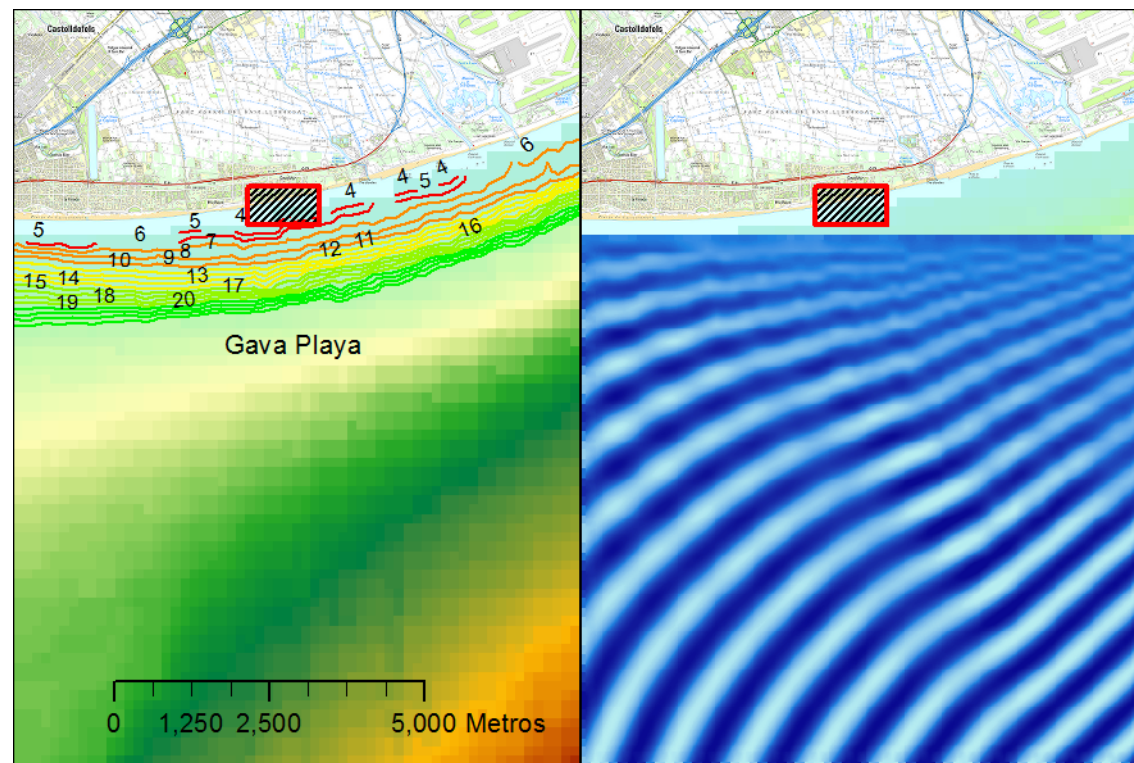


Figura 11. Izquierda: batimetría de la zona de cálculo. Derecha. resultado de ondas obtenido con el modelo REF-DIF.

En la misma figura, a la derecha, puede verse el resultado obtenido con el modelo para la propagación de unas olas características. Se aprecia como el frente de las ondas tiene su entrada por el lado Sur del modelo. Posee un ángulo inicial de incidencia de 60° y se puede apreciar claramente como sufre una perturbación debido al

efecto del fondo (refracción) y las olas se reorientan hasta enfrentar correctamente la línea de costa, siguiendo los dictados de la Ley de Snell (4).

En la simulación el oleaje proviene de la parte inferior de la imagen e inicia su propagación con un rumbo NO. Las condiciones de contorno en los laterales son de gradiente cero (von Newman) y en el extremo superior son condiciones de playa absorbente.

El modelo REF/DIF usado en esta fase del estudio a modo descriptivo, podría utilizarse como herramienta de propagación desde profundidades indefinidas hasta las profundidades de cierre, sin embargo, al disponer de los datos de la base "iOle" (Tomas et al. 2013) ya propagados (como se verá a continuación) se hace innecesario este proceso. En este sentido cabe citar que una alternativa algo más moderna sería el uso del modelo SWAN (Booij et al. 1999) que es de tercera generación y con numerosas ventajas y que de hecho es el modelo que se ha usado para obtener los datos "iOle", con una resolución espacial de 200x200 metros a lo largo de toda la costa española.

De este análisis ilustrativo realizado preliminarmente con REF/DIF se desprende que la rosa de oleaje sufre una alteración importante en las cercanías de la playa. De la misma forma la altura de ola sufre una modificación conocida como "shoaling" o "asomeramiento". Según este efecto la altura de ola crece de forma importante al acercarse a la orilla. De ello cabría esperar que los valores de amplitud de ola fuesen mayores a profundidad de cierre pero esto no es del todo cierto.

Suele ocurrir que el asomeramiento o aumento de la altura de ola por pérdida de velocidad da lugar a unas olas de mayor amplitud. Estas olas pueden sufrir rotura por peralte con el resultado final de una reducción neta de la altura de ola.

Por lo tanto debe calcularse la condición de rotura. La Tabla 2 recoge valores significativos en la evolución de la ola. En la tabla los valores de ola que aparecen en las diferentes zonas son los límites por rotura, de forma que, vistos los resultados, queda claro que no es esperable un aumento de altura de ola al aproximarse a la costa, sino más bien es posible observar lo contrario.

Tabla 2. Valores representativos de la evolución de la ola.

INDEFINIDAS	
h (m)	1000
Hs (m)	3
Tp (m)	10
L (m)	156.1
k (rad/m)	0.04
w (rad/s)	0.6
Cp (m/s)	15.6
A (m)	1.5
E (J)	11036
Acción (J·s/m <sup>2</sup> )	17565

Peralte (°)	0.019
H <sub>max</sub> (m)	6
C <sub>g</sub> (m/s)	7.8
<b>INTERMEDIAS</b>	
h (m)	78.1
H <sub>s</sub> (m)	3.05
L (m)	148.2
k (rad/m)	0.04
C <sub>p</sub> (m/s)	14.8
C <sub>g</sub> (m/s)	7.54
<b>SOMERAS</b>	
h (m)	7.8
H <sub>s</sub> (m)	2.97
L (m)	87.5
C <sub>g</sub> (m/s)	8.0
C <sub>p</sub> (m/s)	8.8
k (rad/m)	0.07

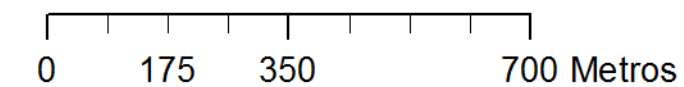


Figura 12. Secciones iOle en Playa de Gavà.

Las condiciones de contorno en profundidad de cierre provienen de la marea y del oleaje, ambos en condiciones extremas. La fuente de información de que se dispone para ambos oleajes es la del proyecto de software para elaboración de mapas de inundación costera “iOle” (Tomas et al. 2013) desarrollado por IH Cantabria y financiado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Tal y como se ha descrito al disponer de esta herramienta se hace innecesario realizar la propagación desde los datos a profundidades indefinidas.

Si existe alguna limitación en “iOle” es la relacionada con el hecho de que no se incluye una rosa de oleaje sino únicamente el régimen escalar y la dirección de máxima energía, ambos en régimen extremal. Por lo tanto un análisis morfodinámico de clima medio obligaría a realizar una propagación desde profundidades indefinidas o a comprar los datos ya propagados desde la base DOW de (Camus et al. 2013) de IH Cantabria.

En iOle los datos de oleaje provienen de la base de datos de puntos DOW generada por IH Cantabria. Los puntos DOW (Downscaled Ocean Waves) (Camus et al. 2013), son el resultado de un proceso para tratar de aumentar la resolución de la información disponible de oleaje.

Dicha información proviene de los datos GOW (Global Ocean Waves), obtenidos a partir de simular numéricamente el clima de la segunda mitad del Siglo XX a partir de los pocos datos medidos disponibles. El espaciado de la malla GOW (10 km) y su distancia a la costa hacen que se trate una información de uso limitado para la ingeniería costera. Eso justificó la elaboración de la malla refinada DOW mediante el uso de técnicas de propagación y análisis, en concreto se utilizó el modelo SWAN (Booij et al. 1999). El tamaño de malla de los datos DOW es de entre 50 y 200 metros, de forma que el proyecto iOle saca partido de esta densidad de información y elabora un mapa de inundabilidad del litoral español con más de 30000 perfiles. La Figura 12 recoge una imagen de la posición de estos puntos frente a la costa de Gavà. La sección situada en el punto de estudio es la 13702.

El proceso de construcción de los datos de puntos DOW se basa en la elaboración de una serie temporal de larga duración de estados del mar. La serie de datos cruda incluye más de 60 años de datos sintéticos calibrados (*hindcasting*) de forma análoga a la red GOW.

Dada la longitud de la serie, una vez aceptada su validez como si se tratase de datos reales medidos, se pueden calcular con gran precisión los climas medios y con una precisión aceptable los climas extremales. Los datos relativos a climas medios son útiles para la definición de temporales ordinarios (Hs12, oleaje superado 12 horas al año) y para el cálculo morfodinámico y los datos extremales para el ajuste de periodos de retorno. Valores como Hs12 se obtienen por interpolación, no por extrapolación, ya que la serie contiene millones de datos y en la probabilidad acumulada este dato corresponde a la F=0.9987 por lo tanto a partir de series de 10.000 datos queda jalonado por datos reales.

En el caso de clima extremal el ajuste de funciones estadísticas resulta imprescindible ya que incluso para periodos de retorno medios como 50 años se entra casi en el ámbito de la extrapolación más allá de los datos (ver Figura 16). En el caso particular de los puntos DOW, en el análisis extremal se aplica la técnica del POT (*Peak Over Threshold*) (Ferreira & Soares 1998) para enriquecer la serie con más datos extremales. Los datos extremales son los usados en el dimensionamiento de elementos de protección y en la delimitación del dominio público.

Tal y como se llevó a cabo el análisis de extremos en el proyecto iOle la técnica escogida es la combinación de una función de distribución del tipo POT y una función de tiempo de llegada. En el caso particular en estudio se ha adoptado como función POT la Distribución Generalizada de Pareto:

$$H(x; u, \sigma_u, \xi) = 1 - \left( 1 + \xi \frac{(x-u)}{\sigma_u} \right)^{-1/\xi} \quad (6)$$

Donde  $u$  es el umbral,  $\xi$  es el parámetro de forma,  $\sigma_u$  es la escala. Como función de tiempos de llegada se ha escogido la función de Poisson.

$$f(k; \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (7)$$

Donde  $\lambda$  es el parámetro de Poisson. La composición de ambas lleva a la función de extremos asociada al periodo de retorno, denominada GP-P:

$$G(x, \xi, u, \sigma_u, \lambda) = e^{-\lambda \left( 1 + \xi \frac{(x-u)}{\sigma_u} \right)^{-1/\xi}} \quad (8)$$

Esta composición de funciones para ajustar regímenes extremales fue propuesta por Teh-fu (1980) y posteriormente se demostró que era equivalente a un ajuste de extremos usando GEV (*Generalized Extreme Values*) (Madsen, Pearson & Rosbjerg 1997, Madsen, Rasmussen & Rosbjerg 1997).

Por lo tanto, a partir de los valores característicos del ajuste compuesto se pueden obtener los parámetros de una GEV ordinaria para determinar los periodos de retorno. La conversión entre ambas es:

$$\begin{cases} \lambda = e^{-\frac{1}{\xi} \log \left( 1 + \xi \frac{(u-\mu)}{\sigma} \right)} \\ \sigma_u = \sigma + \xi (u - \mu) \\ \xi = \xi \end{cases} \quad (9)$$

La conversión de GP-P a GEV resulta útil ya que se trata de una función de extremos de uso extendido. Los parámetros GEV se evalúan resolviendo (9) por métodos numéricos ya que no hay solución directa.

El proceso estadístico descrito anteriormente se reconstruye, ya que "iOle" incluye los datos de eventos extremales para cada una de sus secciones pero únicamente incluye los ajustes estadísticos para los puntos a profundidades indefinidas pertenecientes a la red C3E de IH Cantabria financiado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Losada et al. 2014). Estos se encuentran disponibles en la web del proyecto (<http://www.c3e.ihcantabria.com/>) así como formando parte del software para elaboración de mapas de inundación costera "iOle".

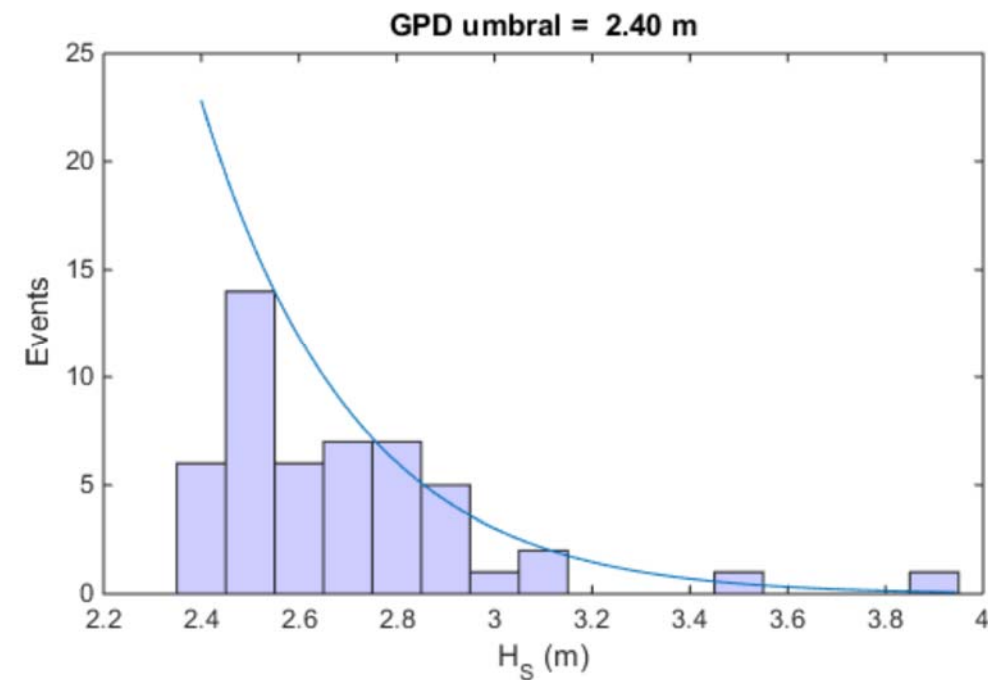


Figura 13. Ajuste de GPD a los datos históricos.

Por lo tanto, a partir de los datos DOW incluidos para el perfil iOle 13702 se procede a la reconstrucción de la distribución GP-P y a partir de ella se calcula la GEV, usada para determinar los periodos de retorno. La Figura 13 presenta el histograma equivalente a la PDF (*Probability Density Function*) y el ajuste mediante la distribución de Pareto. El umbral seleccionado es de 2.40 n.

La elección de la función extremal condiciona notablemente los valores de los periodos de retorno. En el caso concreto de este proyecto el ajuste final equivale a una función GEV. En este tipo de ajustes la incertidumbre juega un papel fundamental, en muchos de los puntos "iOle" para 50 años ya roza el 30%, por lo tanto notablemente alta. Los parámetros GP-P obtenidos en el ajuste se pueden ver en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de GPD-Poisson (POT) para los datos.

Umbral $u$	Forma $\xi$	Escala $\sigma$	Media $\lambda$
2.4 m	-0.0404	0.315 m	1.69 años

Al aplicar el método del umbral con el nivel 2.4 m ha quedado una serie de 50 datos, de los 181 inicialmente incluidos en la serie extremal (aproximadamente 3 por año). Siguiendo las Ecuaciones (g) se puede calcular el valor de los parámetros GEV de la misma serie, estos vienen recogidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros GEV ajustados a los datos POT (umbral 2.6 m).

Forma $\xi$	Escala $\sigma$	Media $\mu$
-0.0454	0.3126 m	2.46 m

A partir de la GEV ya se calcula el oleaje de diseño correspondiente a 50 años de periodo de retorno. La Figura 14 incluye la curva CDF (*Dumulative Density Function*) y la PDF para oleaje.

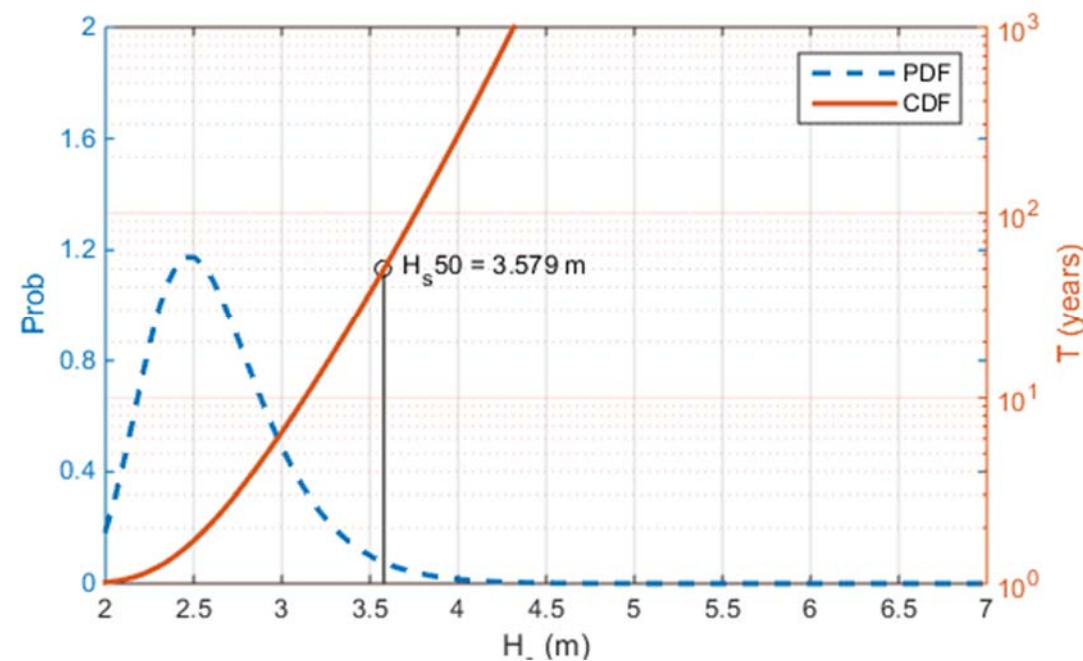


Figura 14. Extremos calculados mediante GEV según el método POT.

Puede verse como el oleaje de diseño para 50 años de periodo de retorno es de 3.57 metros. Resulta un ejercicio de comprobación adecuado el realizar un ajuste directo a los datos mediante GEV sin pasar previamente por la GP-P. Esto implica una reducción de datos ya que el método del POT (usado por GP-P) usa directamente los

valores por encima de un umbral pero GEV usa únicamente el máximo anual, por lo tanto para POT hay 181 datos disponibles pero para GEV únicamente 61. La Tabla 5 muestra los parámetros óptimos del ajuste.

Tabla 5. Parámetros de ajuste GEV a los datos brutos.

Forma $\xi$	Escala $\sigma$	Media $\mu$
-0.17	0.4065 m	2.3473 m

Para poder comparar ambos resultados se realiza la superposición sobre los datos reales. La Figura 15 muestra dicha superposición. Se puede ver la línea correspondiente a la GEV calculada a partir de GP-P llamada "GEV POT", la línea correspondiente al ajuste directo de GEV y finalmente el valor muestral.

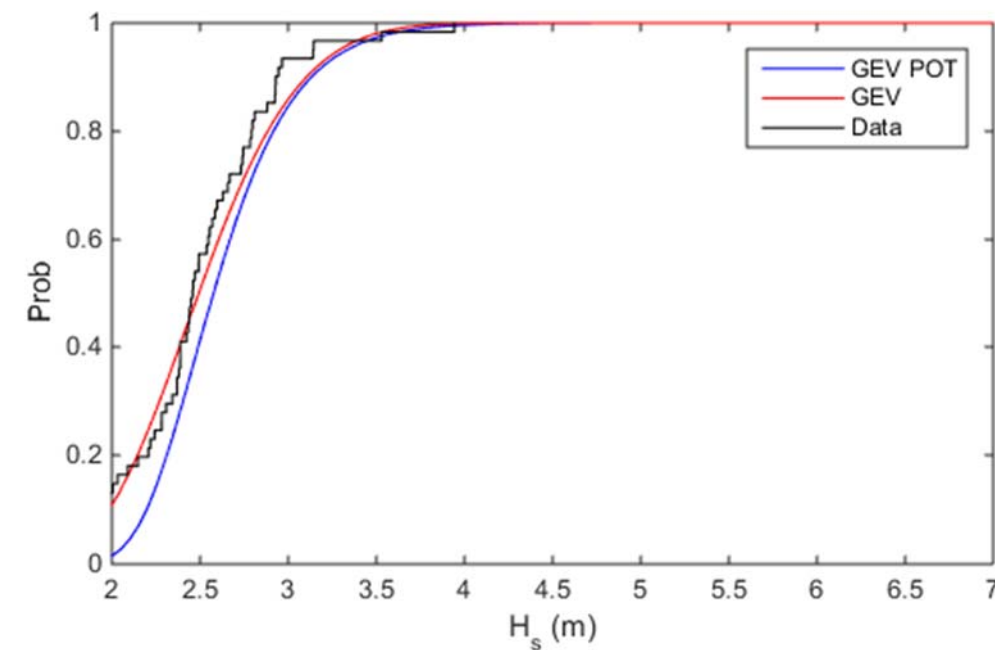


Figura 15. Comparación GEV estándar, GEV POT y datos reales.

Debe considerarse que los valores muestrales son los correspondientes a la serie truncada de máximos anuales, por ello, aparentemente, la GEV ajusta mejor que la "GEV POT" en el caso de mostrarse la serie completa el ajuste de GEV es peor.

Para tener un contraste adicional se recurre al punto iOle en profundidades indefinidas donde se conocen los datos del ajuste estadístico de extremos. En este caso es el punto iOle/E3C 221. La Figura 4 muestra un mapa con la posición de dicho punto respecto al área de estudio.

La Tabla 6 recoge los estadísticos más relevantes derivados para este punto en el contexto del proyecto C3E. Ya de entrada puede apreciarse como la altura de ola para 50 años de periodo de retorno es de 5.96 m. Por lo tanto hay una reducción importante hasta llegar a la profundidad de cierre, donde la altura de ola es de 3.57 m.

Tabla 6. Datos de estado del mar para el punto 224 del proyecto iOle.

<b>VIENTO</b>	$PW$ ( $W/m^2$ )	media	164.4	
<b>OLEAJE</b>	$H_s$ (m)	media	0.757	
	$H_{S95\%}$ (m)	media	1.772	
	$H_{S12}$ (m)	media	3.752	
	$T_p$ (s)	media	4.801	
	$FE$ (kW/m)	media	1.712	
	Dir $FE$ ( $^\circ$ )	media	117.7	
	$H_s$ extremal (m)	$H_{S50}$		5.965
		$u_{umbral}$		3.188
		$\sigma_u$ Pareto		0.758
		$\xi$ Pareto		-0.126
$\lambda$ Poisson			2.751	
<b>NIVEL DEL MAR</b>	Referencia Alicante (cm)		21.65	
	Rango marea (cm)		42.69	
	MSL (cm)	Media	2.055	
	MM95% (cm)	Media	8.492	
	MM extremal (m)	MM50		0.471
		$u_{umbral}$		0.081
		$\sigma_u$ Pareto		0.081
		$\xi$ Pareto		-0.185
$\lambda$ Poisson			1.379	

Con el fin de comparar ambos ajustes, a profundidades indefinidas y a profundidad de cierre se grafican ambas funciones GEV. La Figura 16 recoge ambas curvas la etiquetada como "GEV C3E" es la correspondiente a profundidades indefinidas y la etiquetada como "GEV POT" es la obtenida a profundidad de cierre. Los puntos que aparecen son los eventos extremos inventariados. Se puede apreciar la reducción importante de oleajes para todos los periodos de retorno, de ello se puede deducir que el proceso de *shoaling* se ve alterado, probablemente por una rotura de oleaje.

A modo de comprobación de estos valores se ha recurrido al monograma del *shoaling factor* y de *breaking depth factor* (Center 1984) y se ha establecido que para una ola de 5 metros de altura se produce una amplificación en aguas someras hasta los 5.5 metros pero esta ola rompe para profundidades inferiores a los 8 metros, por lo tanto es razonable tener valores notablemente inferiores a profundidad de cierre.

Las direcciones de máxima energía del oleaje están definidas directamente en "iOle", la Figura 12 presenta las secciones como flechas, éstas indican la dirección de máxima energía.

Además de las alturas de ola y las direcciones el tercer dato relevante para los cálculos es el periodo de pico. Al igual que en el caso anterior se dispone de dos datos, el primero viene directamente de los eventos propagados hasta profundidad de cierre y el segundo proviene de los datos a profundidades indefinidas. La Figura 17 presenta los datos correspondientes a los eventos propagados hasta la sección de cálculo. Estos eventos siempre son extremos, por lo tanto no es representativo de las condiciones medias.

La Figura 18 recoge los datos de periodo contra los de altura de ola significativa para la serie C3E. Puede verse como de forma ordinaria los periodos aumentan con la altura de ola. Esta serie contiene valores medios y valores extremos. El recuadro rojo indica el área correspondiente a los eventos extremos de la Figura 17.

Se adopta como valor de periodo de pico 10 segundos, adecuado para 3.579 m de oleaje correspondiente al periodo de retorno de 50 años.

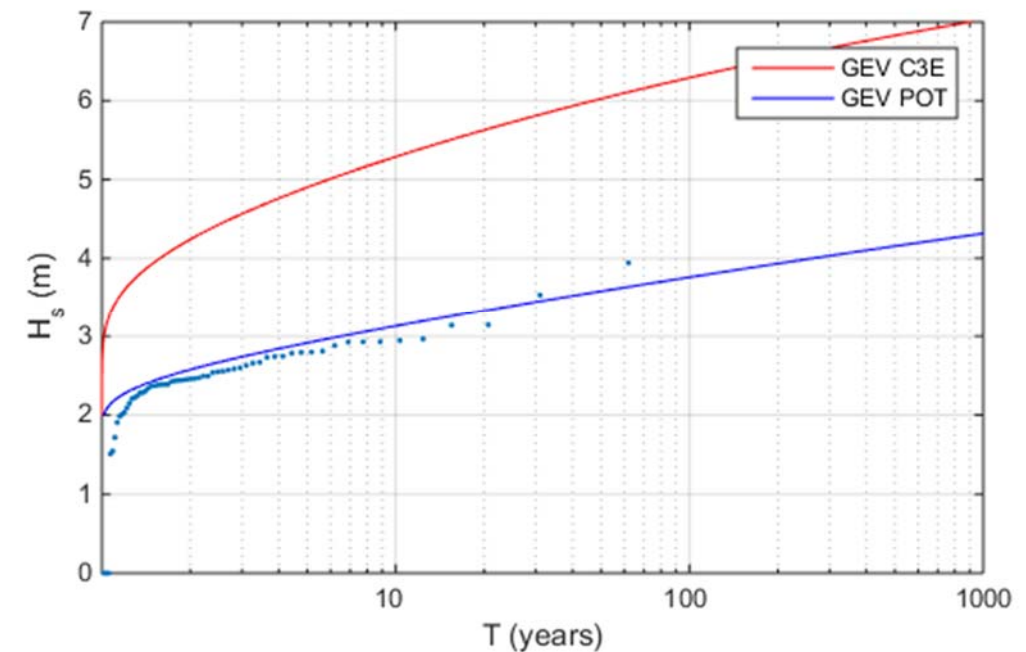


Figura 16. Comparación del ajuste estadístico extremal a profundidades indefinidas (GEV C3E) y a profundidad de cierre (GEV POT).

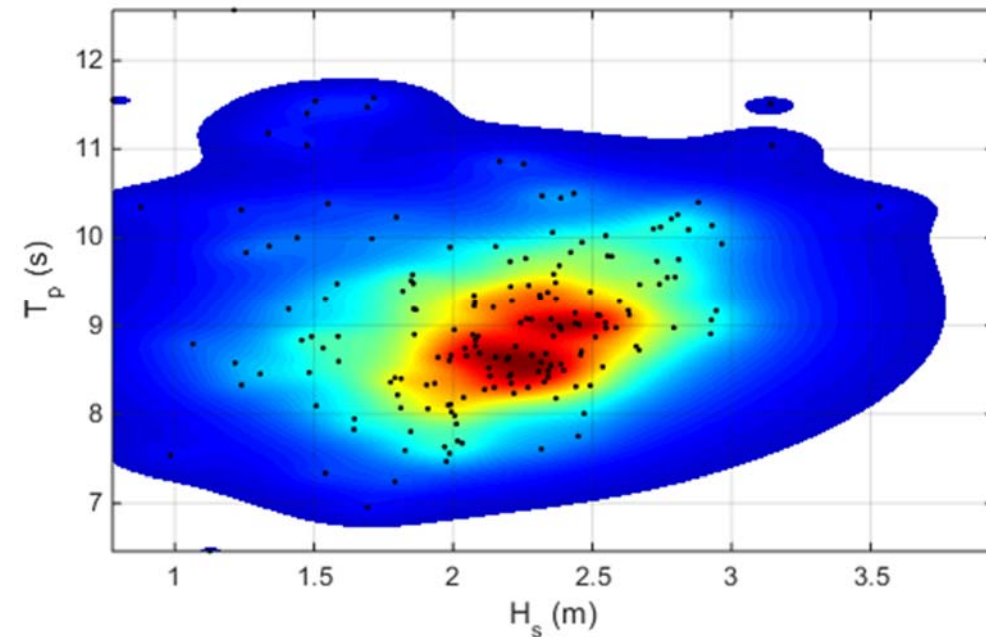


Figura 17. Datos extremales para el Punto 13702 de iOle.

Una vez establecida la dirección, altura y periodo del oleaje ya se dispone de toda la información de oleaje necesaria para el análisis hidrodinámico. Únicamente falta la información correspondiente a las mareas. En principio los valores de marea obtenidos a profundidades indefinidas son válidos también a profundidad de cierre. Por lo tanto los valores del apartado anterior son correctos.

Los temporales utilizados para las simulaciones en el estudio de la UPC (2015) son de 24 horas de duración con un inicio con oleaje de 2 metros de altura y un máximo a las 12 horas. Estas condiciones fueron correctamente establecidas por el estudio CIIRC-UPC del 2015. Para el estudio actual se recurre a una simulación más corta por la falta de recursos computacionales, la duración escogida es de dos horas, pero actuando con máxima intensidad de temporal. Si se tiene en cuenta que la energía del oleaje tiene una dependencia cuadrática con la amplitud el temporal de dos horas supone un flujo de energía de una cuarta parte del episodio de 24 horas.

El transporte de sedimentos tiene una relación mayor a la cuadrática con la velocidad, van Rijn propone para concentración 2.5, además el caudal sólido viene nuevamente multiplicado por la velocidad. Para órdenes de potencia de 3.5 el flujo obtenido en 2 horas es el 70% del obtenido en un episodio progresivo de 24 horas. A pesar de todo ello la complejidad de los procesos hace que no se pueda asumir de forma directa una equivalencia completa entre el episodio progresivo de 24 horas y el intenso de 2 horas. De hecho es modelo dispone de un acelerador morfodinámico para realizar simulaciones cortas representativas de eventos largos.

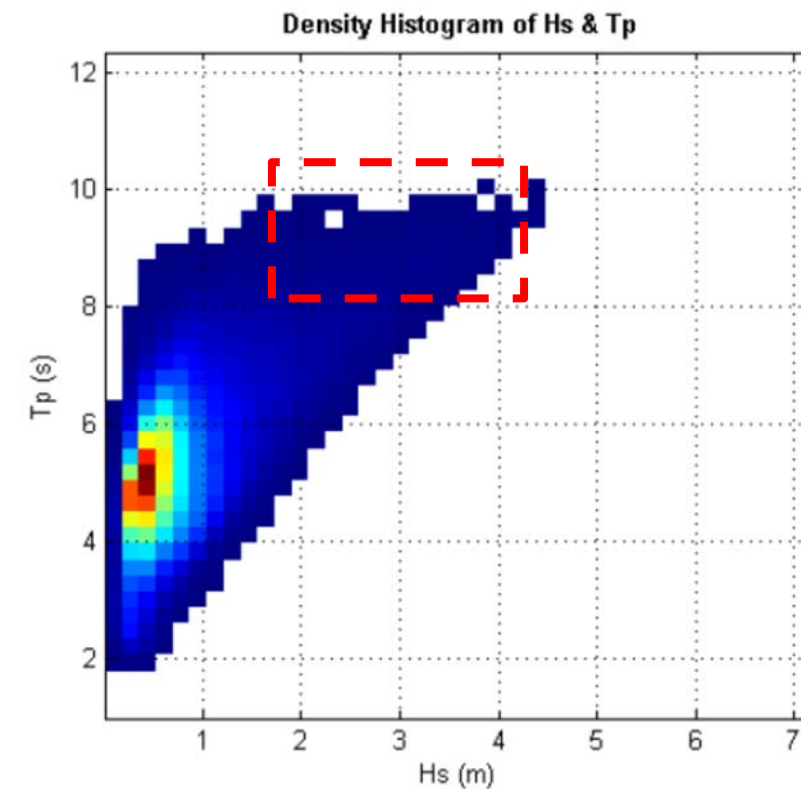


Figura 18. Análisis de la correlación entre altura de ola significativa y periodo de pico a profundidades indefinidas (C3E).

## 5 Clima medio

En el apartado anterior se ha establecido el clima extremal a partir de las tres fuentes de datos disponibles. Para el clima medio únicamente dos de las fuentes aportan datos, la boya de la red XIOM y el punto de boya virtual SIMAR.

Por lo tanto todos ellos se tratan de datos a profundidades indefinidas. A continuación se reproducen parte de los datos correspondientes al análisis de clima medio, en este caso las rosas de oleaje (ver Figura 19). Puede apreciarse la importante coincidencia para clima medio.

En ambas fuentes la ola correspondiente al percentil 90 está entre 1 y 1.5 metros y la ola correspondiente al percentil 75 es de 0.9 m. Respecto a los periodos, para el percentil 75 está en 7 segundos y el percentil 90 está en 7 segundos.

Estos valores de clima medio son los que sirven para dimensionar las medidas correctoras y después se comprueban con el clima extremal.

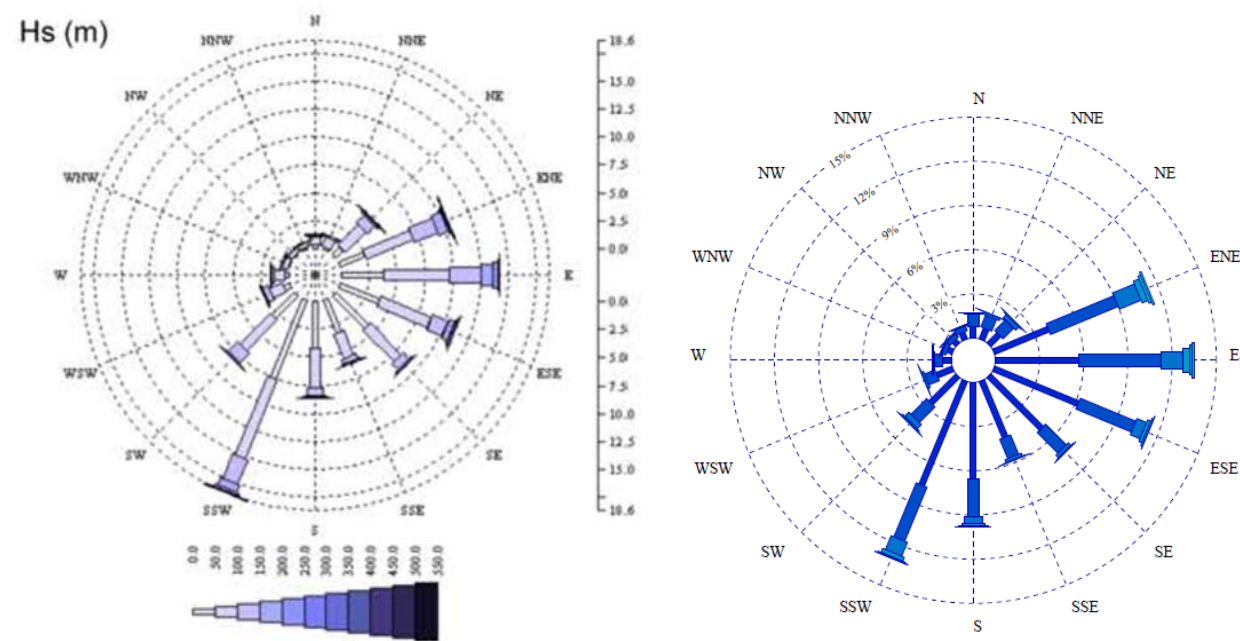


Figura 19. Rosa de oleaje para clima medio de la boya de la red XIOM (izquierda) y SIMAR (derecha) (fuente: "Llibre verd" y PORTUS).

Tabla 7. Información de la Playa de Gavà recogida en el Llibre verd (Sánchez-Arcilla & José A. Jiménez 2008)

		μm		φ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION	
SIEVING ERROR: 0,0%					GRAVEL: 0,0% COARSE SAND: 4,5%	
SAMPLE IDENTITY: <b>Gava</b>					SAND: 100,0% MEDIUM SAND: 73,7%	
SAMPLE TYPE: Unimodal, Well Sorted					MUD: 0,0% FINE SAND: 21,7%	
SEDIMENT NAME: Well Sorted Medium Sand					V FINE SAND: 0,1%	
MODE 1:		327,5	1,616		V COARSE GRAVEL: 0,0% V COARSE SILT: 0,0%	
MODE 2:					COARSE GRAVEL: 0,0% COARSE SILT: 0,0%	
MODE 3:					MEDIUM GRAVEL: 0,0% MEDIUM SILT: 0,0%	
D <sub>10</sub> :		219,3	1,196		FINE GRAVEL: 0,0% FINE SILT: 0,0%	
MEDIAN or D <sub>50</sub> :		309,1	1,694		V FINE GRAVEL: 0,0% V FINE SILT: 0,0%	
D <sub>90</sub> :		436,6	2,189		V COARSE SAND: 0,0% CLAY: 0,0%	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ):		1,991	1,831			
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ):		217,3	0,993			
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ):		1,430	1,357			
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ):		110,3	0,516			
		METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD	
		Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic
		μm	μm	φ	μm	φ
MEAN ( $\bar{x}$ ):		321,9	308,0	1,699	308,0	1,699
SORTING (σ):		94,21	1,326	0,407	1,323	0,404
SKEWNESS (Sk):		1,226	-0,023	0,023	-0,017	0,017
KURTOSIS (K):		5,955	4,899	4,899	1,088	1,088
						Description
						Medium Sand
						Well Sorted
						Symmetrical
						Mesokurtic

De los valores de la tabla se deduce que el  $D_{50}$  de la granulometría es de 0.309 mm. Tal y como se recoge en el estudio de la UPC la DIA (Declaración de Impacto Ambiental) del Puerto de Barcelona anualmente se hace una aportación de sedimento a la unidad fisiográfica. Esta aportación proviene del entorno de Port Ginesta y se suele verter en el término de El Prat de Llobregat. El sedimento recogido en estas acciones posee un diámetro característico de entre 0.1 y 0.15 mm, y presumiblemente, se desplaza a lo largo de la costa y hacia mar adentro. De esta forma cabe esperar alteraciones en los valores medidos en el "Llibre verd".

## 6 Características sedimentológicas

El "Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya" elaborado por el *Departament de Territori i Sostenibilitat* de la Generalitat de Catalunya (Sánchez-Arcilla & José A. Jiménez 2008) contiene un perfil de playa de todas las playas de la provincia, por lo tanto, existe un punto de partida sólido para todos los cálculos de ingeniería de costas.

La contiene la ficha extraída directamente de dicha publicación para la Playa de Gavà, código BLGA030. Entre los valores más representativos está el diámetro 50 del sedimento y otros elementos.

## 7 Diagnósis de la Playa de Gavà

En la fase actual del proyecto se debe elaborar una diagnósis de la problemática. Los indicios parecen apuntar a un retroceso continuo de la playa en Gavà. Para tratar de dilucidar la realidad de ese proceso se hace uso de las fotografías históricas.

La principal aportación de sedimento al ámbito proviene de Río Llobregat. La playa está localizada en su delta, por lo tanto existe una relación íntima entre río y playa. De esta forma queda establecido que la dinámica

sedimentaria del río condicionará la de la playa. Un análisis fluvial permite extraer información de la evolución costera.

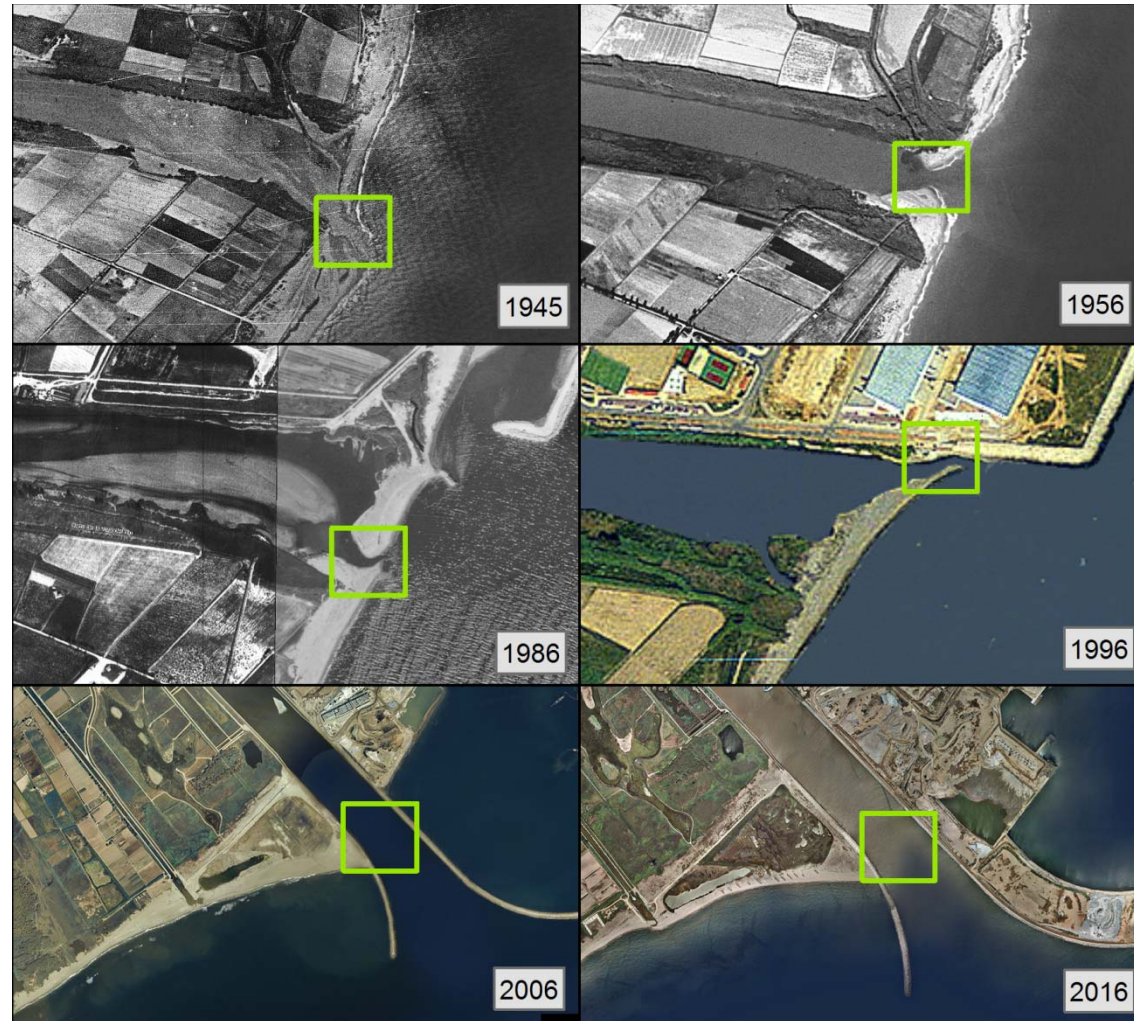


Figura 20. Detalle de la desembocadura del Río Llobregat y su bocana.

Sin embargo el carácter efímero del Río hace algo más complicado el análisis. Las aportaciones reales de sedimento de un río como el Llobregat son esporádicas. La Figura 20 recoge 6 imágenes diferentes de la desembocadura del Río Llobregat, correspondientes a diferentes periodos. Las cuatro imágenes más antiguas (1945-1996) corresponden a la desembocadura original, las dos últimas a la modificación de la desembocadura llevada a cabo para permitir la ampliación del Puerto de Barcelona. Los recuadros verdes delimitan la desembocadura activa del río.

Como es típico en cuencas mediterráneas los ríos llegan al mar y se desarrolla un conflicto muy importante entre la dinámica fluvial y la costera. De forma que en condiciones ordinarias el oleaje y marea dominan llegando a crear una playa "dentro" del río.

Esto es lo que se ve en la desembocadura original. En caso de avenida se impone la dinámica fluvial que descompone las barras y playas y hace que el río recupere su espacio. Las pequeñas desembocaduras activas evidencian un dominio claro del mar y por lo tanto un efecto fluvial mínimo, relegado a las épocas de avenida.

De forma que la progresiva regulación de los ríos va inhibiendo las avenidas y la dinámica fluvial prácticamente desaparece y con ello sus aportaciones de sedimento.

Las imágenes de la desembocadura modificada (2006-2016) son completamente diferentes. Se ha optado por una solución de encauzamiento más con espigones de protección, para minimizar la formación de playas. Sin embargo ya se aprecia en las imágenes un proceso de aterramiento muy importante en el río, con sedimentación de grandes masa de sólidos, que acabarán dando lugar a barras parecidas a las de la desembocadura antigua, es sólo cuestión de tiempo y además será beneficioso para los ecosistemas porque la configuración actual saliniza el sistema por intrusión marina en el cauce.

De lo recogido anteriormente se desprenden dudas razonables sobre si el tramo escogido, entre desembocadura del Río Llobregat y Macizo del Garraf debería estar en equilibrio. Podría darse el caso de que el Río Llobregat no fuese una aportación insuficiente para la dinámica del litoral y las aportaciones sedimentológicas de ríos como el Besos (no regulado) y el Tordera (no regulado) hubiesen tenido un papel importante.

De forma que la presencia del Puerto de Barcelona pudiese llegar a hipotecar el equilibrio litoral. En cualquier caso resulta imposible distinguir de forma sencilla los efectos de la regulación en el Llobregat y los de la barrera del puerto.

## 8 Evolución histórica

El proceso de análisis estabilidad a largo plazo implica proyecciones a futuro, sin embargo la evolución del pasado da pistas fundamentales para la realización de las proyecciones. Por ello se seleccionan una serie de imágenes históricas de los últimos 70 años y se extrae información de la evolución de la línea de costa.

La Figura 21 muestra las 6 imágenes seleccionadas en el periodo, correspondientes a los años 1945, 1956, 1986, 1996, 2006 y 2016. Existen otras imágenes intermedias pero en primera fase se opta por estas 6. El procedimiento consiste en digitalizar la línea de costa y comparar su evolución. Este proceso tiene unas debilidades importantes relativas al periodo de realización de la imagen ya que las playas experimentan un retroceso estacional importante. No se dispone de los metadatos de algunas de las imágenes, por lo tanto se buscarán conclusiones claras.

En las imágenes los recuadros rojos corresponden a la zona en fase de diagnóstico. Se aprecia claramente como la costa tiene un perfil curvado, lo que en principio, en presencia de oleaje de dirección definida provoca escenarios de desequilibrio en el transporte de sedimentos. Esto se debe a que todas las formulaciones dependen del ángulo de incidencia del frente de ola sobre la costa.

Este ángulo es diferente para cada temporal de forma que de nuevo aparecen las dudas sobre el concepto del "clima dominante". Si existe algún ángulo único representativo de algo es el correspondiente a la máxima energía de oleaje, recogido en la Figura 22. Se puede ver como incide de forma casi perpendicular a la línea de costa en todo el ámbito en estudio, de forma que la dirección cambia.

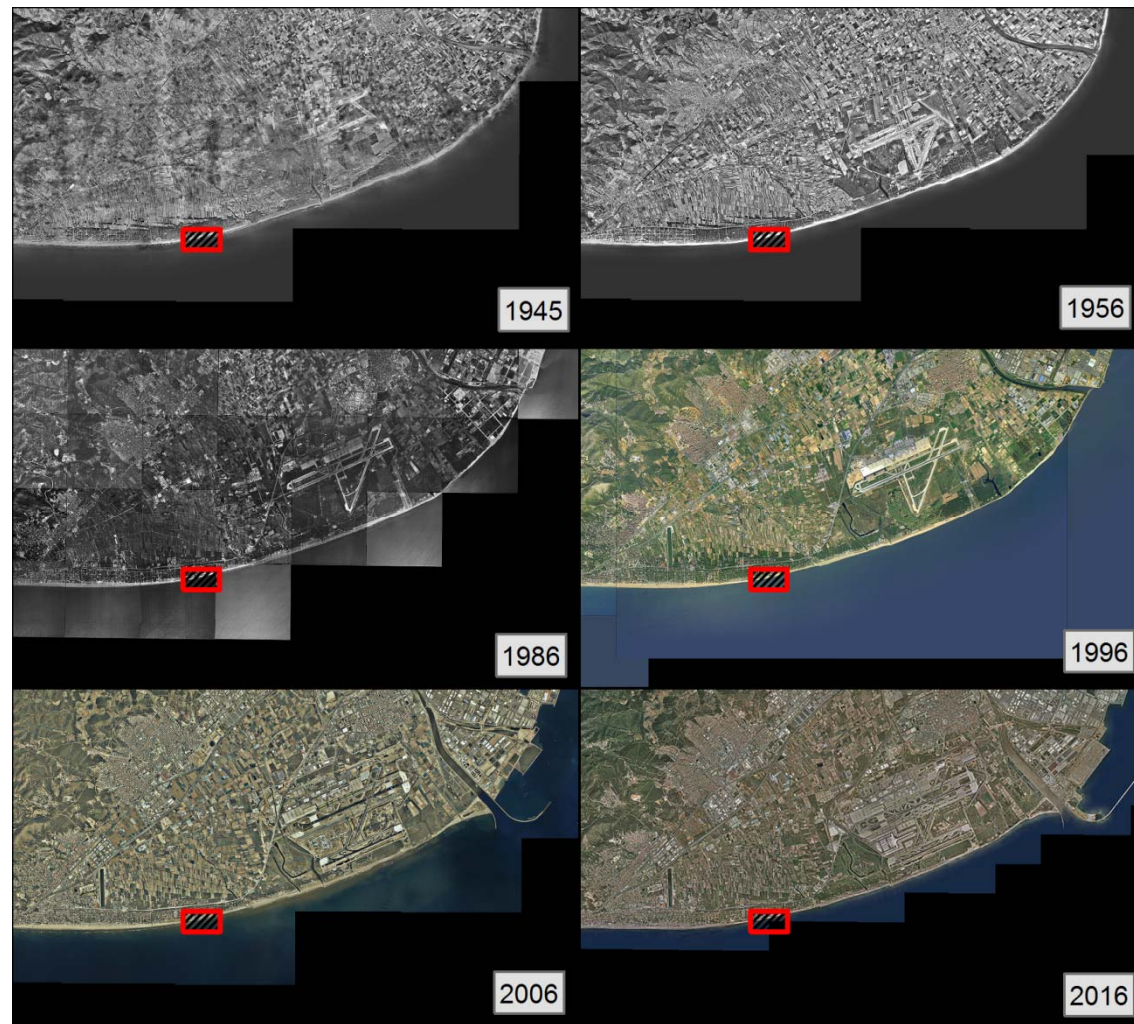


Figura 21. Imágenes seleccionadas para el análisis de la evolución de la costa.

A priori podría especularse con que el transporte longitudinal es nulo y las playas están en equilibrio, sin embargo se verá como las evidencias geomorfológicas apuntan en otra dirección, de forma que cobra fuerza la necesidad de modelar series largas o episodios variados.

Una vez realizada la delineación de la línea de costa se identifican patrones de evolución a lo largo de la costa, en este caso cuatro patrones diferenciados, identificados como "Zona 1", "Zona 2", "Zona 3", "Zona 4". La Figura 23 recoge esta zonificación, así como las curvas obtenidas en la delineación.

La "Zona 1" se corresponde con la desembocadura del Río Llobregat, la "Zona 2" se corresponde con la costa frente al aeropuerto. La "Zona 3" es la zona en estudio y finalmente la "Zona 4" es todo el tramo recto hasta llegar a Port Ginesta.

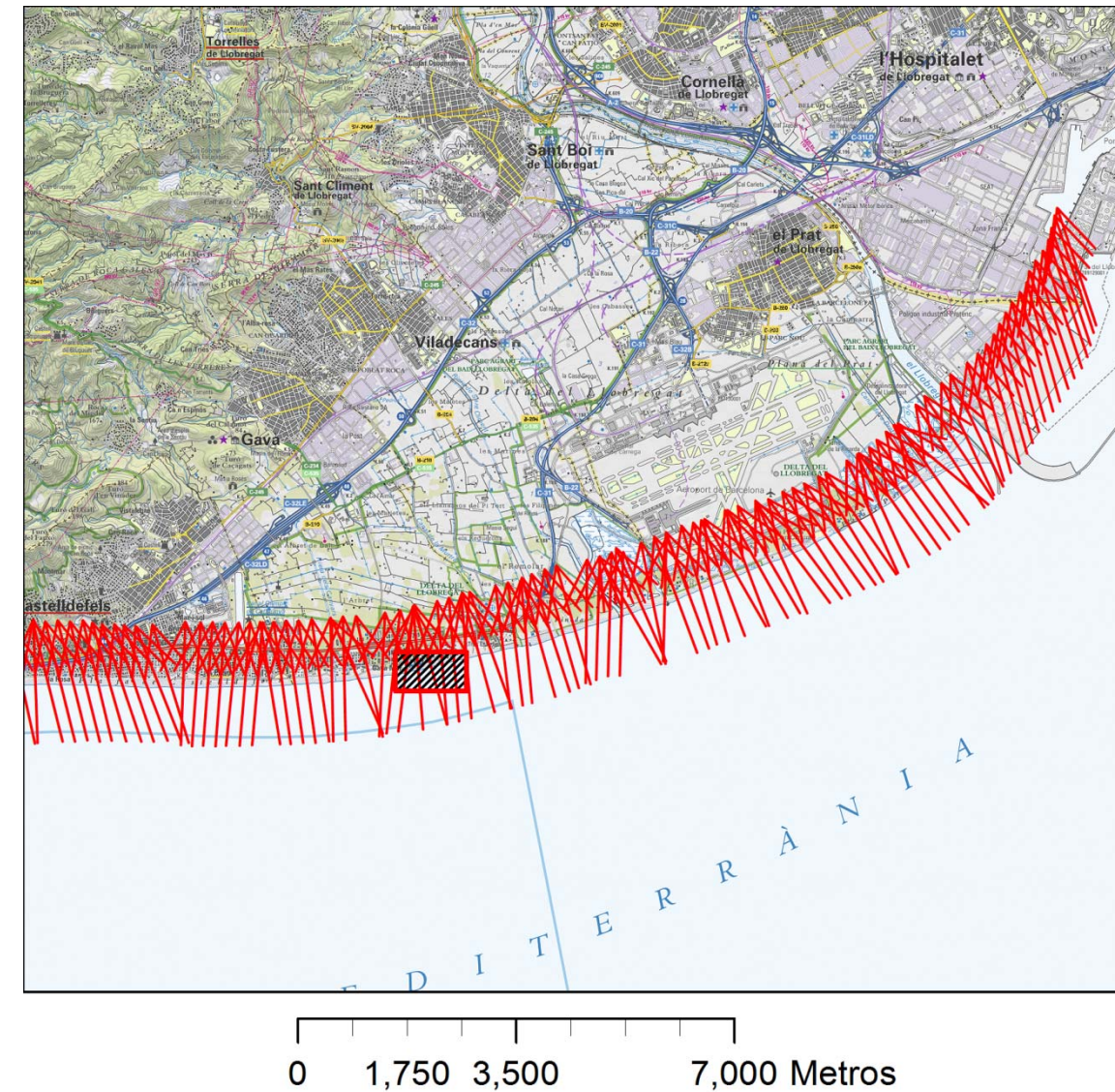


Figura 22. Dirección oleaje con máxima energía.

A continuación de cada una de las zonas se realiza una descripción morfodinámica así como se da algún número de evolución de línea de costa.

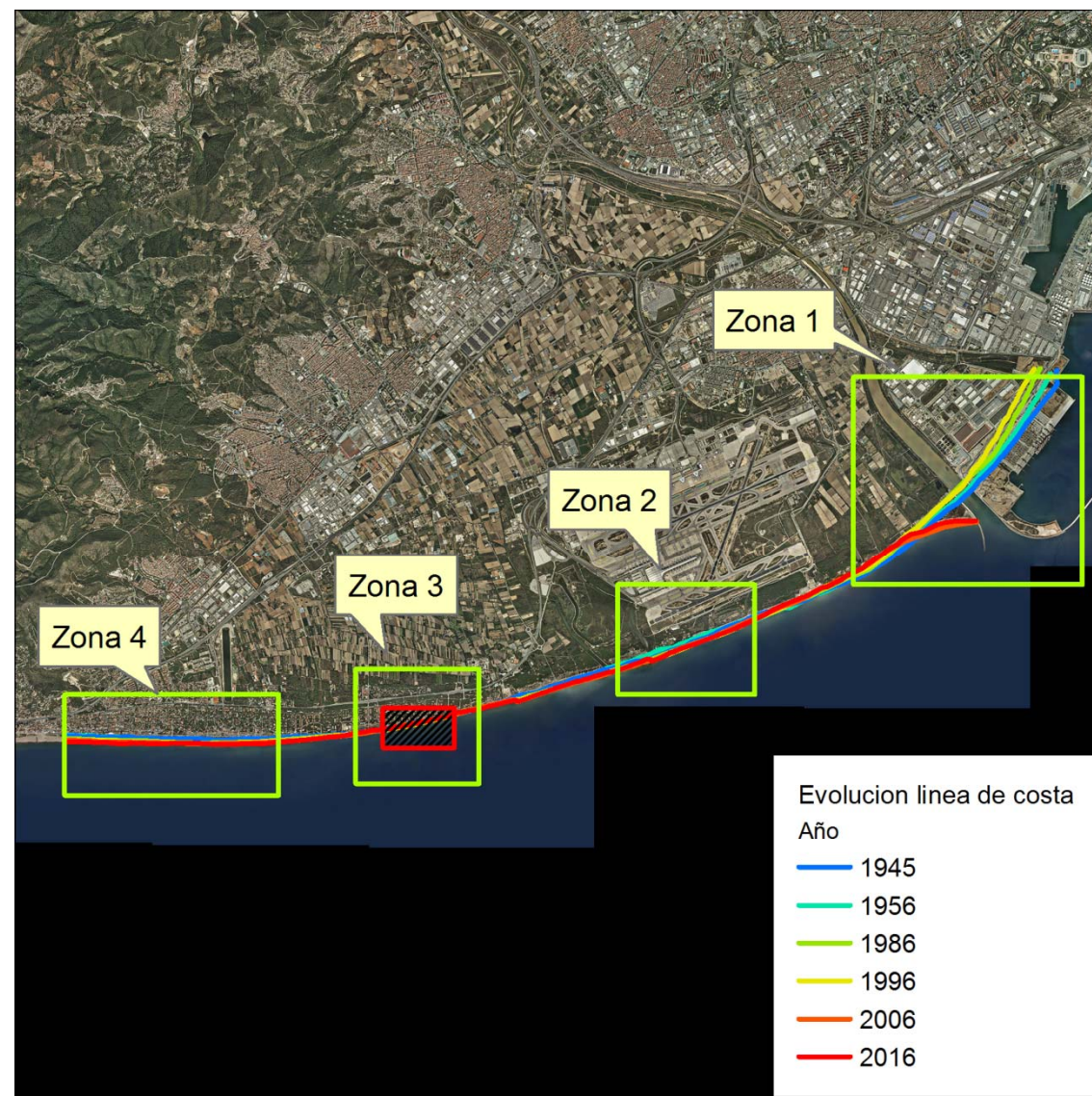


Figura 23. Zonas identificadas dentro del ámbito de estudio.

### 8.1 Zona 1

Esta zona consta de dos puntos donde se mide la evolución (ver Figura 24 cuadrados discontinuos). Uno de ellos cerca de la desembocadura y el otro a unos 500 m al Sur. La dinámica de esta zona resulta muy interesante. Mirando la Figura 24 resulta claro que desde la primera imagen disponible (1945) se iba produciendo un retroceso notable de la costa, este retroceso ocurría al Sur de la antigua desembocadura del Llobregat. Dado que las corrientes son predominantemente de Norte a Sur, los problemas de abastecimiento de arena se podrían deber a la reducción de aportaciones del río, pero quizás con alguna influencia del puerto.

A partir de 2006 aparecen resultados notablemente distintos, se produce la modificación del curso del río, la desembocadura se traslada al Sur, ello supone unos rellenos muy importantes de arenas en el espigón Sur. En el 2006 aparece una sedimentación muy importante que parece revertir el retroceso histórico, sin embargo esta aportación resulta extremadamente volátil ya que en los 10 años siguientes sufre un retroceso importante, con velocidades de hasta 7 metros por año. Así que aunque temporalmente se produjo una situación de estabilización la dinámica general es a perder playa.

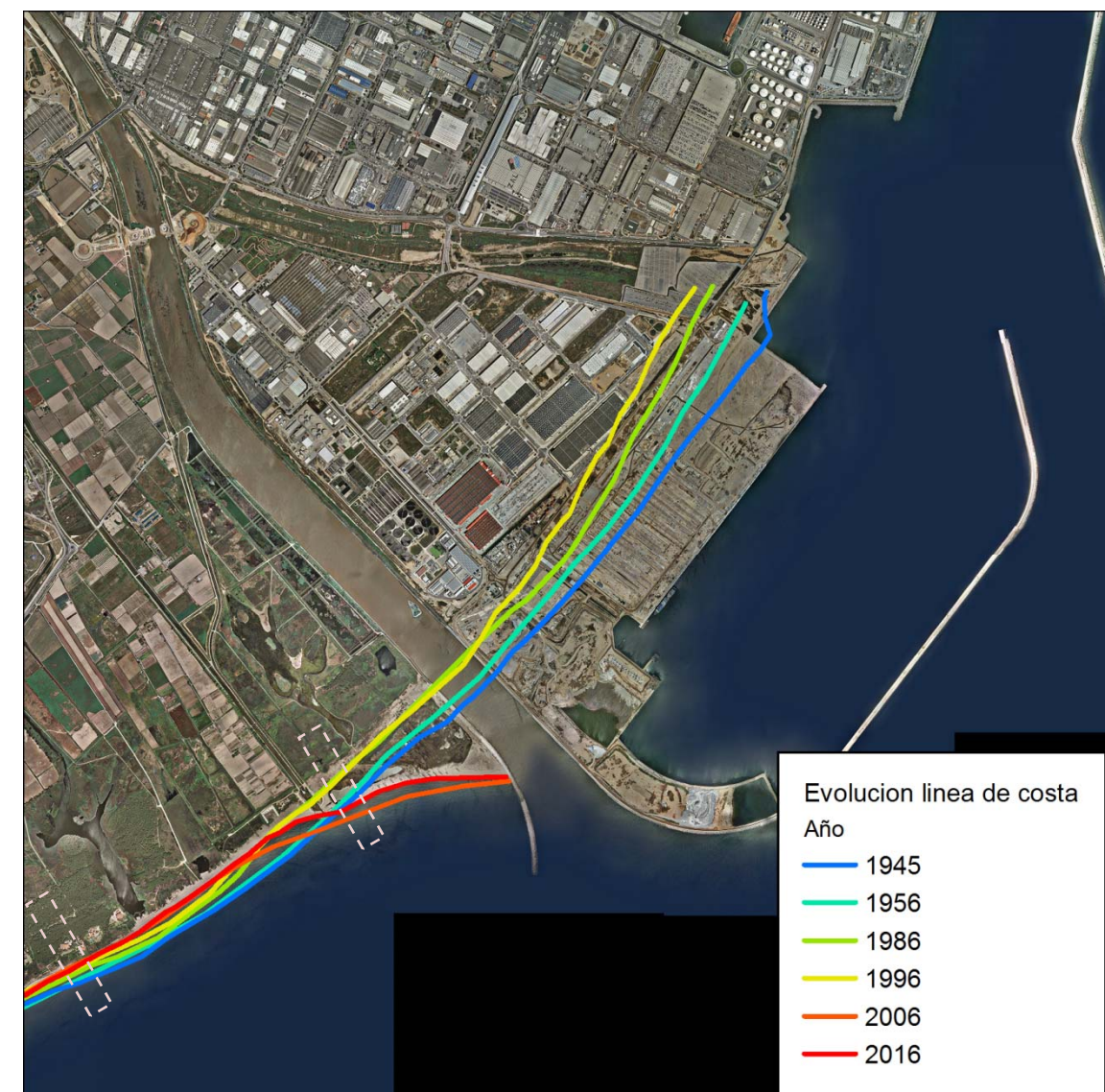


Figura 24. Zona 1, correspondiente a la desembocadura del río, los rectángulos discontinuos recogen las dos áreas con medidas del retroceso.

A continuación se exponen las velocidades en los procesos de erosión/sedimentación.

En las inmediaciones de la desembocadura:

- De 1945 a 1956 retroceso de 24 metros.
- De 1956 a 1986 retroceso de 80 metros.
- De 1986 a 1996 retroceso de 10 metros.
- De 1996 a 2006 avance de 100 metros.
- De 2006 a 2016 retroceso de 70 metros.

A 500 metros al Sur de la desembocadura:

- De 1945 a 1956 retroceso de 25 metros.
- De 1956 a 1986 retroceso de 45 metros.
- De 1986 a 1996 retroceso de 30 metros.
- De 1996 a 2006 avance de 30 metros.
- De 2006 a 2016 retroceso de 5 metros.

Puede verse como las velocidades son significativamente altas. El punto 2 está situado a una distancia tal que aparecen todos los efectos del desequilibrio reinante en la "Zona 1", aunque podría estar en fase de estabilización, ya que en el periodo 2006-2016 las progresiones de la erosión se reducen.

## 8.2 Zona 2

La "Zona 2" se localiza en las inmediaciones del aeropuerto de El Prat. Se trata de una área donde la dinámica está invertida, en los últimos años se ha producido una sedimentación progresiva debido a la presencia de un espigón. Este espigón está relacionado con el "Estany del Remolar" y es una medida de estabilización de su desembocadura. Tal y como aparece en la Figura 25 en el extremo Sur del tramo se encuentra un segundo espigón (recuadro) que estabiliza todo el ámbito e intercepta las corrientes Norte-Sureste, en límite de la playa de la Murtra que contribuye igualmente a la estabilización.

- De 1945 a 1956 avance de 20 metros.
- De 1956 a 1986 avance de 23 metros.
- De 1986 a 1996 avance de 12 metros.
- De 1996 a 2006 avance de 15 metros.
- De 2006 a 2016 avance de 10 metros.

Resulta interesante comprobar como la pequeña dimensión de ambos espigones resulta en una sedimentación importante.

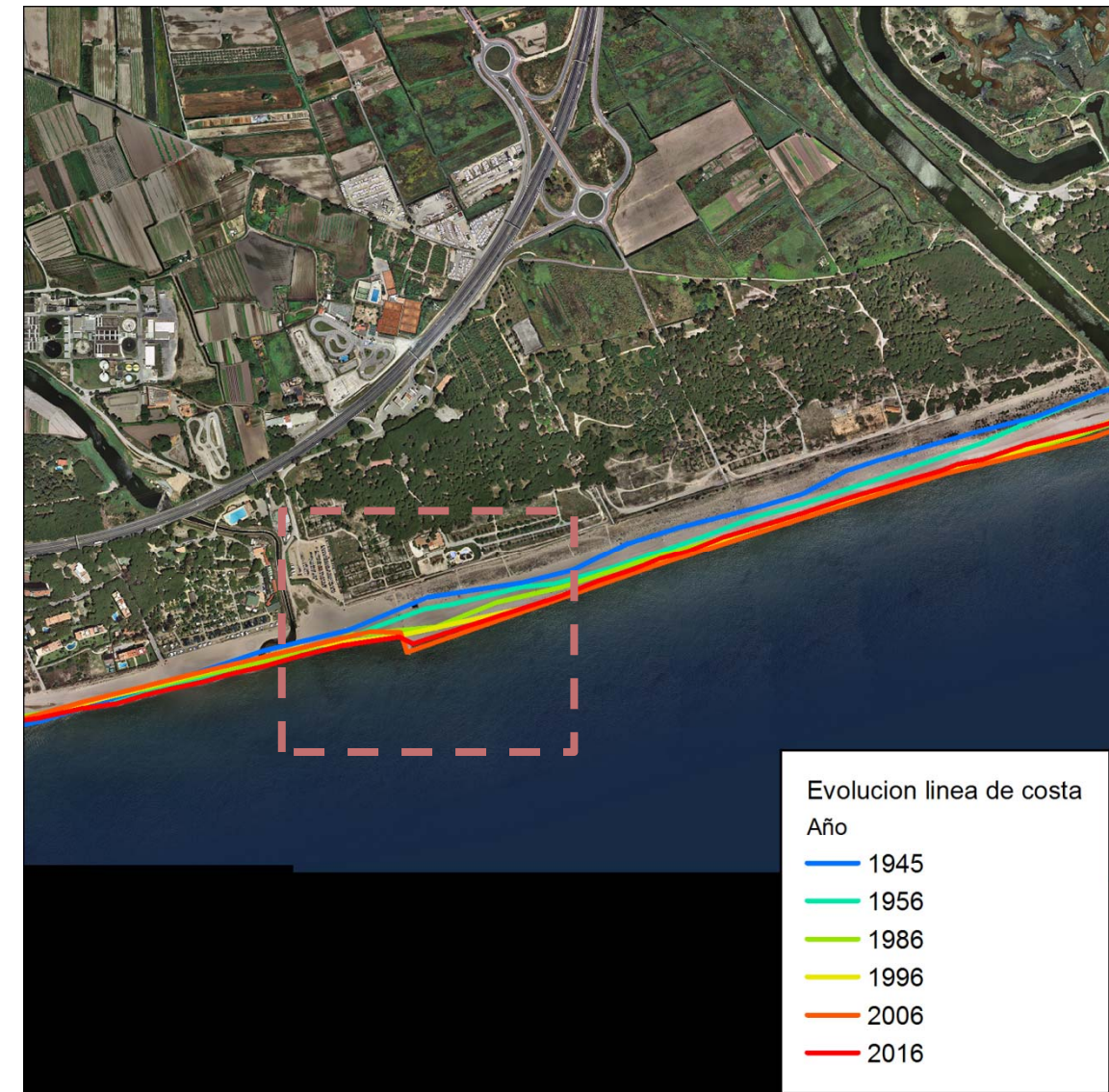


Figura 25. Zona 2, proximidades del aeropuerto.

## 8.3 Zona 3

La "Zona 3" es la que contiene las playas en estudio en Gavà. La dinámica es algo compleja. Se aprecia un retroceso generalizado pero con algunos matices. La primera imagen, correspondiente al año 1945 es la que muestra un retroceso mayor de playa, además presenta algunas morfologías particulares, por lo que parece ser consecuencia de un temporal reciente.

El resto de dinámica es regresiva, con algunas oscilaciones. En conjunto se puede decir que se han perdido unos 20 metros de playa, que es poco si se compara con otras zonas. Los últimos datos casi coinciden con mínimos históricos así que se podría considerar que la tenencia actual es a la regresión.

Tiene una cierta lógica dado que las playas inmediatamente al Norte poseen los espigones citados anteriormente, que a pesar de ser de pequeñas dimensiones se muestran eficaces. Si es cierto que las aportaciones de sedimento vienen por la corriente Norte-Sur los espigones de protección de las playas de El Prat resultan una barrera para las playas de Gavà.

Si hubiese que dar algún valor numérico a la regresión se podría hablar de 1 metro/año.



Figura 26. Zona 3, playas en estudio en Gavà.

#### 8.4 Zona 4

La "Zona 4" resulta la zona de playa recta que se identifica con el efecto de Por Ginesta, la instalación portuaria situada justo antes de la llegada al macizo del Garraf. Dicho puerto supone un bloqueo importante que da lugar a un llenado de arena de las playas aledañas. La Figura 27 muestra la sucesiva sedimentación de la playa que parece gozar de muy buena salud. La línea actual coincide con máximos históricos.

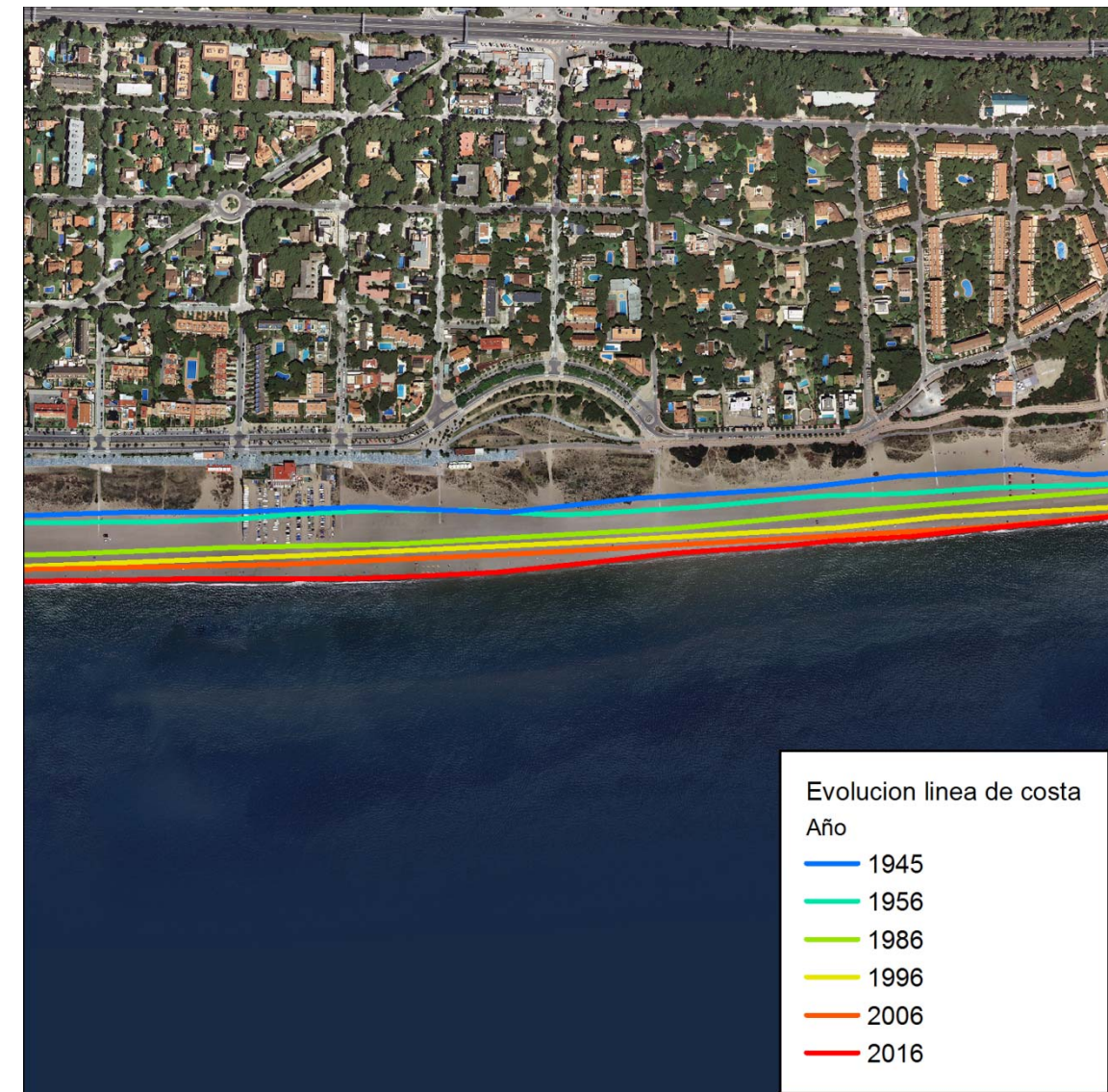


Figura 27. Zona 4, tramo recto del final del ámbito de estudio.

Las sucesivas evoluciones de la línea de costa son:

- De 1945 a 1956 avance de 8 metros.
- De 1956 a 1986 avance de 30 metros.
- De 1986 a 1996 avance de 10 metros.

- De 1996 a 2006 avance de 8 metros.
- De 2006 a 2016 avance de 16 metros.

## 8.5 Comparación sectores

Para poder poner en contexto el comportamiento observado en la Playa de Gavà se comparan los perfiles evolutivos de las playas vecinas. La Figura 23 recoge esta información para todas las playas del sector fisiográfico. Se puede comprobar como todas las playas excepto las de Gavà han tenido una evolución a mayor ancho, con desplazamientos netos positivos.

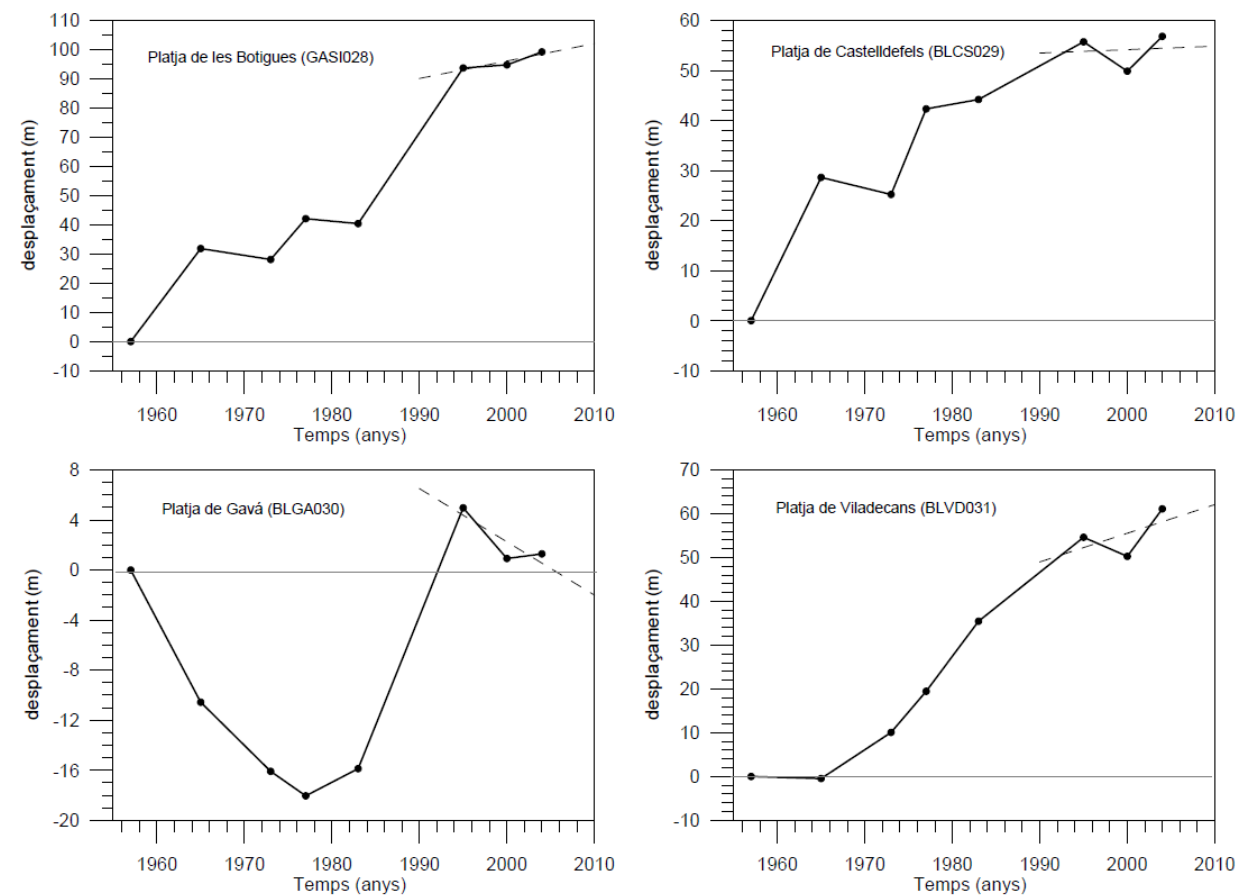


Figura 28. Evolución de las playas del segmento fisiográfico (Llibre Verd).

La Playa de Gavà presenta un comportamiento diferente, no ha habido un balance neto positivo sino un equilibrio, pero esta situación en un contexto de crecimiento es un indicador negativo. Las playas vecinas han crecido entre 50 y 100 metros mientras que Gavà se mantiene estable. Eso significa que posee unas condiciones diferentes de sus vecinos inmediatos.

## 9 Medidas correctoras y prognosis

A partir del cálculo anterior queda caracterizada la regresión de la Playa de Gavà. No se trata de un proceso acelerado pero en el presente estudio se cuantifica en 1 m/s y en el estudio UPC (2015) con un análisis más detallado se cuantifica en 0.4 m/s.

Dadas las magnitudes no se propone una solución estructural de gran repercusión como unos espigones de cierre sino una medida "blanda", de carácter estructural pero con impacto local. De esta forma se pretende minimizar los efectos adversos en las playas colindantes.

Visto el abanico de soluciones existentes de carácter blando se puede decir que en conjunto existen las transitorias y las permanentes. Estas últimas pretenden evitar el efecto erosivo durante la temporada invernal y son retiradas para el periodo estival.

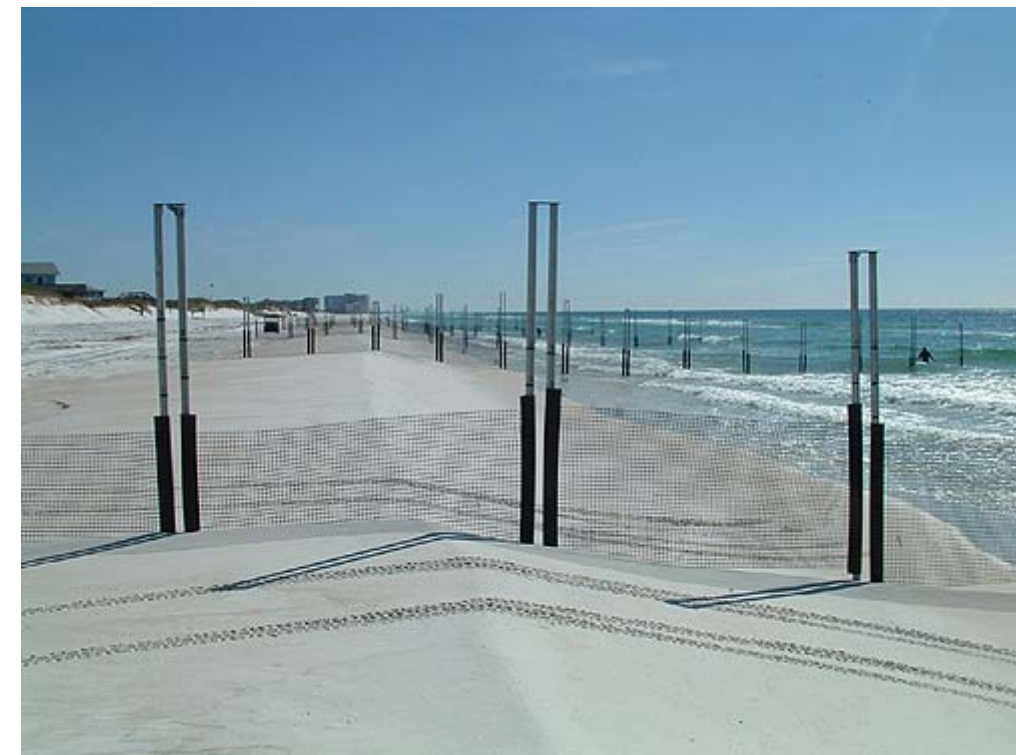


Figura 29. Ejemplo de espigones porosos temporales (fuente: NuShore LLC).

La Figura 29 presenta un ejemplo de espigones porosos, se instalan temporalmente ocupando sección emergida y sumergida hasta que la playa adquiere la medida deseada y posteriormente se recogen. En caso de grandes temporales erosivos deben volver a instalarse. Mientras están instalados interrumpen parcialmente la funcionalidad de la playa.

Entre las estructuras con carácter permanente de bajo impacto los diques sumergidos longitudinales construidos con geotubos merecen una mención especial. El geotubo es un geotextil enrollado que contiene la propia arena de la playa. La Figura 30 muestra el procedimiento de instalación. Puede verse como el dique se

sitúa a una distancia determinada de la línea de costa y el efecto es de ajuste del perfil del playa. Se consigue llenar el espacio confinado entre el dique y la playa.

El efecto del dique sumergido es la disipación de energía de oleaje por rotura. Debe destacarse además la presencia del manto anti socavación instalado enfrente al oleaje. Este manto evita el descalce del dique y su desmoronamiento.

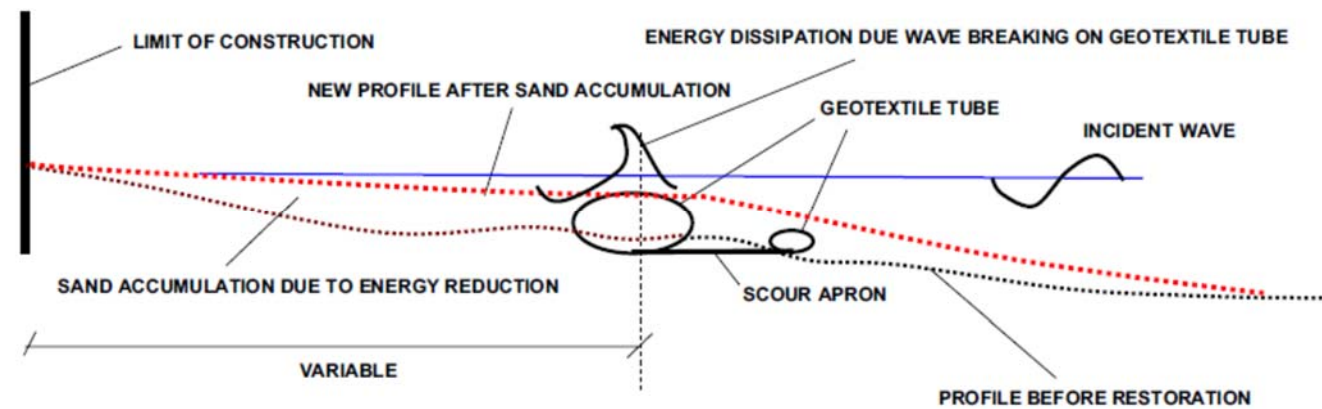


Figura 30. Descripción general de un dique sumergido formado a partir de geotubos (Alvarez et al. 2007).

Este tipo de medida correctora no interrumpe el transporte longitudinal de sedimentos a lo largo de la costa. En la Figura 31 puede verse un ejemplo después de 18 meses de funcionamiento. Se parecía claramente como el efecto de reducción de energía de oleaje acaba dando lugar al relleno del espacio entre dique y playa. Se debe destacar además que la nueva línea de costa aparece sobre el dique, de forma que el geotubo forma la línea de agua (ver Figura 31).



Figura 31. Efecto del dique sumergido de geotubos en la península de Yucatán (Alvarez et al. 2007).

Por lo tanto se trata de una propuesta estructural que reduce la erosión en la playa a por el hecho de que fija la línea de orilla. De esta forma en su diseño debe considerarse donde se pretende establecer la línea de costa o cuál es el ancho de playa deseado. Siguiendo los datos históricos de retroceso de playa, según el "Llibre verd", UPC (2015) y este estudio se recomienda una distancia de 20 metros mar adentro.

Los criterios de diseño de los diques sumergidos con geotubos son algo complejos. Se deben evitar siempre condiciones de reflexión, por lo tanto el geotubo no debe presentarse como un rompeolas sino que en condiciones ordinarias debe estar ligeramente debajo de la superficie del agua.

Debido a la limitada marea del Mediterráneo las condiciones de diseño son más simples. La Tabla 8 y la Figura 32 contienen los valores de dimensionamiento propuestos. Puede verse que el geotubo debe estar 25 cm por debajo de la superficie. Esta quedará establecida en el momento que se ejecute la obra y entonces se determinará la cota absoluta.

Tabla 8. Dimensionamiento del geotubo para el dique sumergido.

Acotación	Medida (m)
a	1.3
b	0.9
c	2.0
d	0.4
e	0.2
A (m2)	1.4

Así mismo puede destacarse que el manto anti socavación que une los dos cilindros tiene 2 metros de longitud y en las figuras aparece como "c". El diseño se realiza a partir de las condiciones dominantes en clima medio.

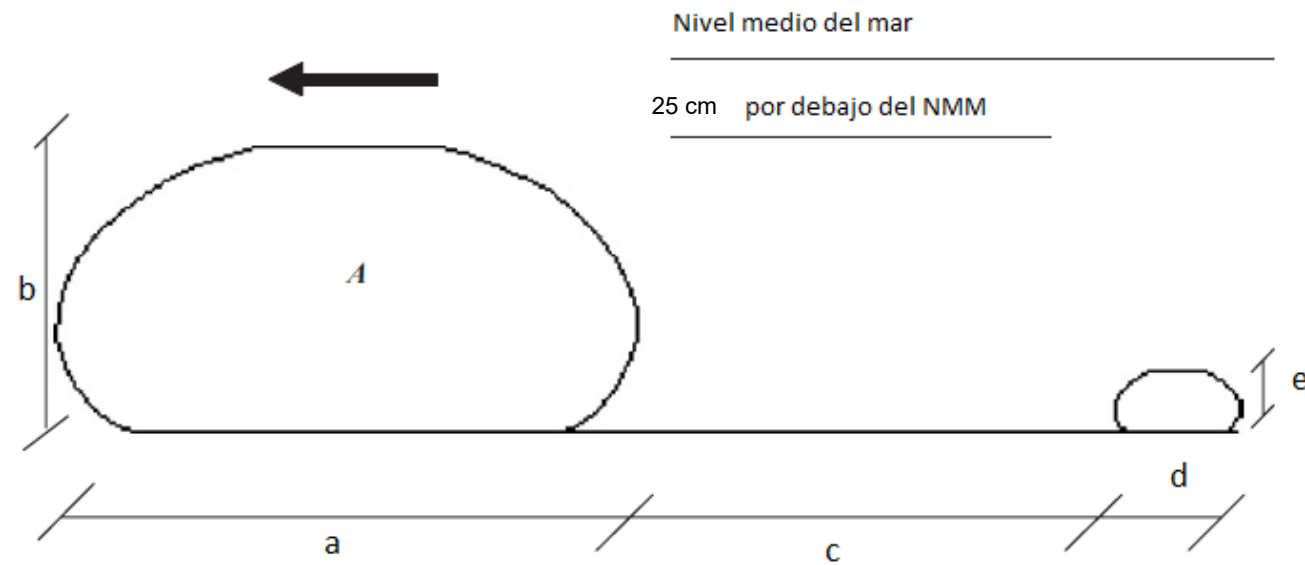


Figura 32. Esquema de dimensionamiento de los geotubos.

Se utiliza el número de Iribarren para garantizar que el nuevo perfil continúe siendo disipativo. En el caso de colmatarse de sedimento el espacio entre el dique y la playa el número resultante es de 0.08, por lo tanto está muy por debajo del umbral de 0.4 para playa disipativa.

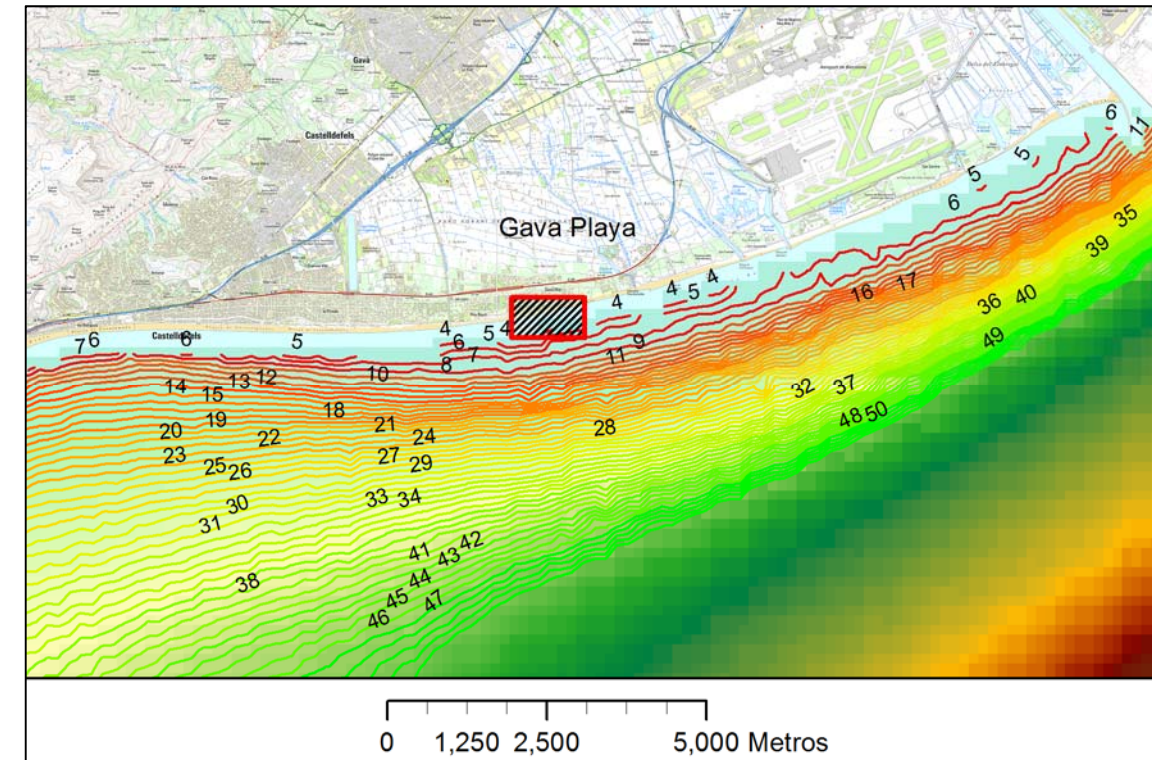


Figura 33. Batimetría obtenida de EMODnet y procesada mediante GIS.

Se trata de una batimetría **insuficiente** de cara a la redacción de un proyecto ejecutivo, pero para unos cálculos preliminares como los aquí realizados en el contexto de un estudio de alternativas es suficiente. Para el modelado numérico de la zona de rompientes se ha incorporado parte de los datos del estudio realizado por UPC en 2015.

## 10 Batimetría

A falta de una batimetría de detalle se recurre a todas las fuentes disponibles. En este caso la más detallada es la correspondiente a la iniciativa de datos abierto de la UE denominada EMODnet (*European Marine Observation Data Network*). El Instituto Hidrográfico de la Marina y el Instituto Español de Oceanografía contribuyen a la construcción de una batimetría detallada. La Figura 33 muestra la batimetría disponible elaborada a partir de los datos EMODnet.

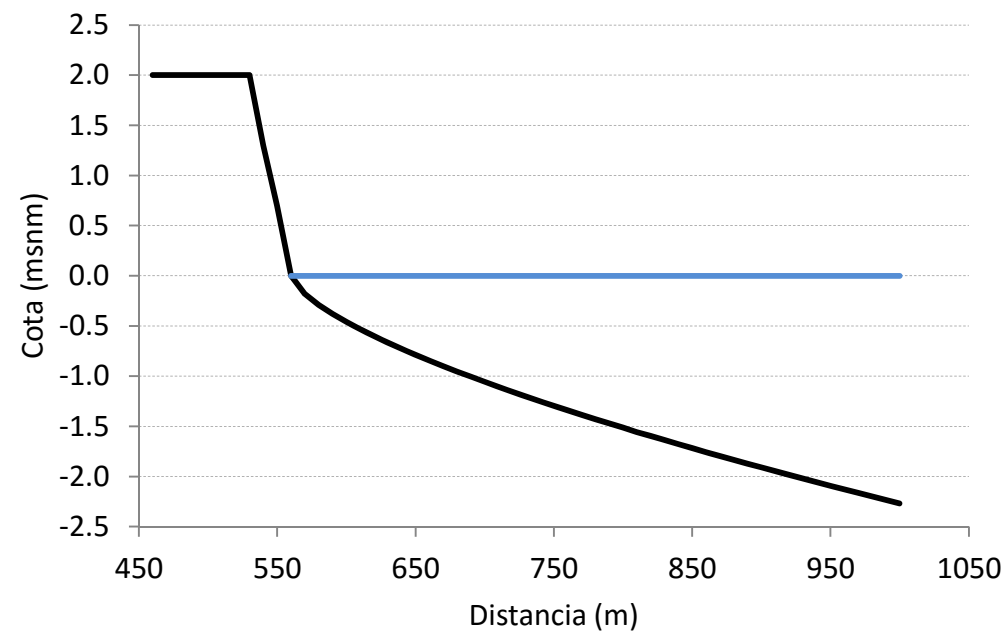


Figura 34. Perfil extraído de los datos batimétricos y del estudio UPC 2015.

Con el fin de validar el perfil se compara con un ajuste de Dean (1991):

$$z = Ax^{2/3} \quad (10)$$

Donde para el parámetro  $A$  de escala se obtiene 0.03, notablemente diferente a 0.11 obtenido según la ecuación de Hallermeyer (1981), lo que indica que el perfil de playa existente en la unidad fisiográfica es realmente tendido con pendientes inferiores al 1%.

## 11 Modelado numérico

El objetivo del modelado numérico es validar la medida correctora propuesta. Para ello se corren dos escenarios correspondientes a eventos de 15 años de periodo de retorno, este periodo de retorno se escoge por coherencia con el estudio elaborado por la UPC en 2015. El primer escenario corresponde al estado actual y el segundo a una vez ejecutado el dique sumergido. La diferencia entre ambos sirve de medida de la eficacia de la propuesta. La situación del dique sumergido es la esperable, en la que se ha producido un relleno entre dique y playa, por lo tanto su efecto mitigador es máximo. En un escenario realista los 20 metros de distancia entre dique y playa se aterrizarían y actuarían como duna de protección adicional.

Una vez finalizado todo el proceso descrito en los apartados anteriores del documento se dispone de datos de clima medio y extremal así como un escenario morfodinámico del Punto iOle 13702 situado a profundidad de

cierre cerca de la costa en estudio. En este último tramo es donde más energía se pierde por el efecto de "rotura" del oleaje. Por lo tanto cabe esperar alturas de ola menores.

### 11.1 Descripción del modelo numérico

La necesidad de caracterizar correctamente este fenómeno obliga al uso de un modelo adecuado a la reproducción del fenómeno. En este caso el modelo seleccionado es el xbeach de Deltares (Roelvink 2009).

Este modelo es capaz de operar con múltiples configuraciones, tanto hidrodinámicas como morfodinámicas. Dentro de estas últimas aparecen tres modos de operación fundamentales:

- i. Modelo estacionario: Modelo que resuelve las ecuaciones promediadas para las olas.
- ii. Modelo no estacionario: Resuelve las ondas largas y cortas de forma diferenciada (ver Figura 35).
- iii. Modelo no hidrostático: No promedia en la onda, resuelve la fase.

Cada uno de ellos tiene un uso recomendado. El adecuado para la resolución de tómbolos, playas de equilibrio y morfodinámica en general es el estacionario.

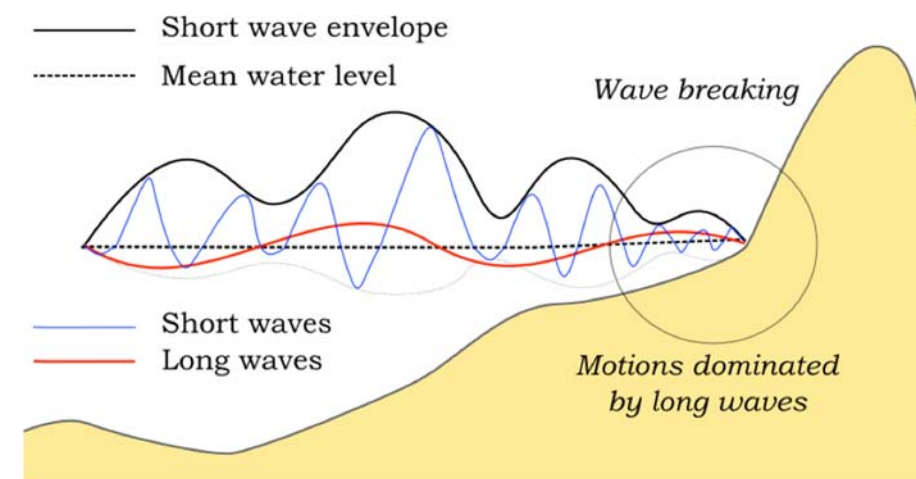


Figura 35. Separación de ondas largas y cortas en la simulación (fuente: xbeach Manual).

Se trata de un modelo que resuelve la ecuación de conservación de la acción, de forma similar a la conservación de la energía. El modelo incorpora términos fuente para reproducir las pérdidas de energía por rotura de ola y otros efectos. La formulación empleada es similar a la del HISWA y se puede usar directamente como referencia (Holthuijsen et al. 1989). Se trata de un modelo que resuelve la ecuación de la densidad de acción  $A$  definida como:

$$A(x, \theta) = \frac{E(x, \theta)}{\sigma(x, \theta)} \quad (11)$$

Donde  $E$  es la energía para una cierta dirección  $\theta$  y  $\sigma$  la frecuencia del oleaje. La conservación se puede formular como:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial C_p A}{\partial x} + \frac{\partial C_\theta A}{\partial \theta} = -\frac{D}{\sigma} \quad (12)$$

Donde  $D$  es la disipación de energía asociada a rotura de ola o fricción de fondo. El tercer término de la ecuación es el correspondiente al asomeramiento. El modelo no incluye la difracción y el tratamiento de la frecuencia es puramente paramétrico sin ser espectral. La diferencia entre el estacionario y el no estacionario es el hecho de incluir o no el término de la derivada temporal. Para el análisis aquí incluido se usará el modelo no estacionario. La disipación  $D$  incluye términos como la rotura ( $D_b$ ) o la fricción de fondo ( $D_f$ ). La disipación provocada por la rotura de una ola se calcula como:

$$D_b = \frac{\alpha}{4} \rho_w g f_m \frac{H_{rms}^3}{h} \quad (13)$$

Donde  $\alpha, f_m$  son parámetros. Esta disipación por rotura debe ponderarse correctamente con la probabilidad de que una ola rompa  $P_b$ :

$$P_b = \left( 1 - \exp \left( - \left( \frac{H_{rms}}{\gamma h} \right)^n \right) \right) \quad (14)$$

Donde  $n, \gamma$  son de nuevo parámetros a estimar. Como se trata de un modelo centrado en un única frecuencia (no es espectral puro) incorpora un módulo específico para las ondas cortas que resuelve la misma ecuación pero para ondas cortas. La Figura 35 recoge una descripción de la complementariedad del cálculo de onda corta superpuesto al de onda corta.

Respecto al módulo no hidrostático es el modelo adecuado para problemas de runup complejos, se trata de un modelo que comparte algorítmica con el emblemático SWASH (Zijlema et al. 2011), la diferencia principal está en la eficiencia computacional, el modelo xbeach está desarrollado con la mente orientada al rendimiento.

Por definición el modelo es 2D ( $x, y$ ) pero permite cálculos 1D ignorando las componentes transversales ( $y$ ). Las ecuaciones de gobierno son las siguientes:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial HU}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( HU^2 + \frac{1}{2} gH^2 + H\bar{p} - \frac{\tau_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial u}{\partial y} \left( HUV - \frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) &= gH \frac{\partial d}{\partial x} - p \frac{\partial d}{\partial x} + S_x \quad (15) \\ \frac{\partial HV}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( HV^2 + \frac{1}{2} gH^2 + H\bar{p} - \frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial v}{\partial x} \left( HUV - \frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) &= gH \frac{\partial d}{\partial y} - p \frac{\partial d}{\partial y} + S_y \end{aligned}$$

Donde  $H$  es el calado,  $\eta$   $U, V$  son las velocidades,  $g$  la gravedad,  $S$  la pendiente geométrica,  $\tau_{ij}$  las tensiones de Reynolds y  $\bar{p}$  las presiones dinámicas. Este elemento es el que hace este modelo apto para la propagación de ondas cortas. El modelo posee la corrección a la presión estática, equivalente a usar Boussinesq de alto orden, y además con un algoritmo eficiente. Este es el modelo seleccionado para el presente problema.

Obviamente para que el sistema esté bien puesto hacen falta modelos de turbulencia para las tensiones de Reynolds, así como una ecuación de cierre para las presiones. Esta última suele ser la ecuación de conservación del momento vertical.

$$\frac{\partial HW}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} \left( HUW - \frac{\tau_{zx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( HVW - \frac{\tau_{zy}}{\rho} \right) = gH + \bar{p} \quad (16)$$

Complementada con la ecuación de continuidad local:

$$W|_\eta + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} - V \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=-\xi} - U \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=-\xi} = 0 \quad (17)$$

La morfodinámica se resuelve mediante un modelo de transporte de sedimentos, que responde a la formulación clásica de convección, difusión y término fuente (Galappatti & Vreugdenhil 1985):

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial hCu^e}{\partial x} + \frac{\partial hCv^e}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ D_h h \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D_h h \frac{\partial C}{\partial y} \right] = \frac{hC_{eq} - hC}{T_s} \quad (18)$$

Donde  $C$  es la concentración de sedimento,  $u, v$  son las velocidades,  $D_h$  es la difusión molecular y a la derecha aparece el término de erosión/deposición. Esta ecuación a su vez se sustenta en una serie de ecuaciones de cierre.

Tal y como se ha comentado anteriormente la elección de este modelo se apoya en su versatilidad hidrodinámica así como ser el único que incluye capacidades morfodinámicas, a diferencia de REF/DIF, HISWA, SWAN o SWASH.

Por otra parte esta aplicación es código libre, por lo tanto se realizan correcciones particulares además de poder determinar los cálculos exactos. Finalmente el modelo dispone de una interficie en MATLAB muy adecuada para los postprocesos de resultados.

Existen unas consideraciones morfodinámicas relativas al cálculo que deben mencionarse. La zona en estudio no está en equilibrio estático. Existe una dinámica generalizada de erosión. El equilibrio en el transporte longitudinal se ha perdido, por lo tanto las batimetrías empleadas son circunstanciales. El desequilibrio hace que a largo plazo las playas sufran un retroceso paulatino.

## 11.2 Datos de entrada

Los datos de entrada más relevantes para el modelo se describen a continuación. Existen multitud de parámetros de configuración que no se describen por la extensión del documento.

### 11.2.1 Condiciones de contorno

Los valores climatológicos extremales se tienen que convertir en un escenario de oleaje de diseño. Siguiendo las directrices marcadas en el estudio UPC (2015) se considera un temporal de diseño con las siguientes características:

- 24 horas de duración
- 12 horas hasta el máximo
- 15 años de periodo de retorno
- Espectro JONSWAP

Según lo indicado arriba los valores de altura de ola significativa adoptados son de 3.2 metros y 10 segundos de periodo de pico. Estos datos deben usarse para construir una serie de altura de agua que cumpla las prescripciones. Pasar de valores representativos estacionarios a una serie temporal no es una tarea sencilla. Una de las maneras ordinarias de representar y analizar una serie temporal es a través de su espectro o de la función de densidad espectral.

Así como Kolmogorov describe el espectro de la turbulencia como una monótona descendente, en oleaje se obtienen unos máximos locales característicos, directamente relacionados con la altura de ola significativa  $H_s$ . El primer espectro definido fue el de Pierson-Moskovitz (1964), asociado a un oleaje completamente desarrollado, esto es obtenido tras un proceso de viento estacionario a lo largo de una longitud extensa. El espectro está definido como:

$$S(w) = \frac{\alpha g^2}{w^5} e^{-\beta \left(\frac{w_0}{w}\right)^4} \quad (19)$$

Donde  $S(w)$  es la densidad espectral definida para la velocidad angular  $w$ ,  $\alpha$  es una constante de valor 0.0081,  $\beta$  es otra constante de valor 0.74 y  $w_0 = g/U_{19.5}$ , donde  $U_{19.5}$  es la velocidad del viento a 19.5 m sobre el nivel del mar.

A partir de la teoría de la capa límite la velocidad del viento a 19.5 m se puede relacionar con la velocidad a 10 m, a través de la relación:

$$U_{19.5} \approx 1.026 U_{10} \quad (20)$$

A partir de esta descripción analítica del espectro la frecuencia pico se obtiene como:

$$w_p = 0.877 g/U_{19.5} \quad (21)$$

Y a partir de esta se puede calcular la celeridad de las olas como:

$$c_p = \frac{g}{w_p} = 1.14 U_{19.5} \approx 1.17 U_{10} \quad (22)$$

De la misma forma se puede integrar el espectro para obtener su momento de orden cero  $m_0$ , y este a su vez, para oleaje de espectro de banda estrecha se relaciona con la altura significativa, de forma que se puede relacionar el espectro con la ola significativa:

$$H_s = 0.21 \frac{U_{19.5}^2}{g} \approx 0.22 \frac{U_{10}^2}{g} \quad (23)$$

De esta forma, a partir de la altura significativa y del periodo de pico se pueden calcular dos velocidades equivalentes del viento, la Tabla 9 muestra ambos valores y puede verse su falta de consistencia, de forma que el oleaje no se asemeja a uno desarrollado.

Tabla 9. Valores para el oleaje completamente desarrollado.

	U10
HS	11.85
Tp	13.85

Por lo tanto un espectro de Pierson-Moskovitz es ligeramente inadecuado para las condiciones extremales. Para tratar de mejorar un poco más se propone el uso del espectro de JONSWAP (Hasselmann et al. 1973), que es capaz de representar condiciones no completamente desarrolladas. La definición del espectro es:

$$S(w) = \frac{\alpha g^2}{w^5} e^{-\frac{5}{4} \left(\frac{w_p}{w}\right)^4} \gamma^r \quad (24)$$

$$r = e^{-\frac{(w-w_p)^2}{2\sigma^2 w_p^2}}$$

La diferencia principal respecto al anterior es el factor que agudiza los picos  $\gamma^r$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 0.076 \left( \frac{U_{10}^2}{F g} \right)^{0.22} \\
 \omega_p &= 22 \left( \frac{g^2}{U_{10} F} \right)^{1/3} \\
 \gamma &= 3.3 \\
 \sigma &= \begin{cases} 0.07 & \omega \leq \omega_p \\ 0.09 & \omega > \omega_p \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

Donde  $F$  es el fetch. Por otra parte se puede relacionar con la altura de ola significativa:

$$H_s = 4 \sqrt{1.67 E^{-7} \frac{U_{10}^2}{g} F}
 \tag{26}$$

Aplicando estas formulaciones se puede determinar la distancia y velocidad del viento necesaria para alcanzar esta condición de equilibrio, siendo:

El generador de oleaje usado parte de los datos de altura de ola  $H_{m0}$  del momento de orden cero  $m_0$  del espectro de energía, a través de la relación  $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$ . Tal y como se ha dicho, para el caso de oleajes con espectro de banda estrecha se puede suponer que  $H_{m0} \equiv H_s$ , es decir, equivalente a la altura de ola significativa.

En la Figura 36 se pueden ver los datos de altura de agua generados por el sistema a partir del espectro JONSWAP. Estos datos son los que finalmente alimentan al modelo como condiciones de contorno. La Figura 37 muestra el espectro de la condición de contorno generada. Puede verse como está centrada en los 10 segundos de periodo de pico.

Estas series temporales se generan de forma aleatoria, por lo tanto para dos ejecuciones consecutivas los resultados son diferentes. Por ello se requiere una longitud de simulación adecuada, de forma que la muestra poblacional sea suficientemente grande como para garantizar los estadísticos.

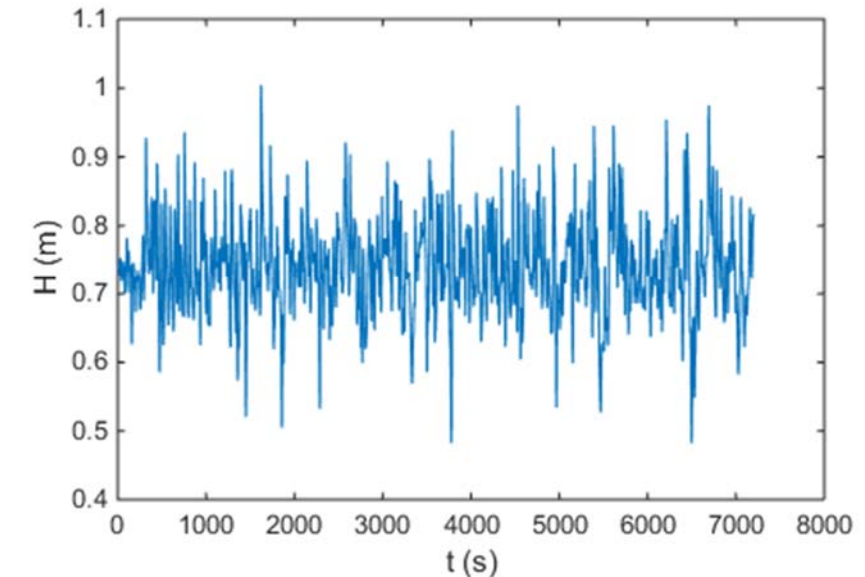


Figura 36. Oleaje espectral usado como condición de contorno del modelo.

Existe un último elemento importante en la generación del oleaje que es la dirección. Del análisis de los datos C3E se establece que la máxima energía proviene del rumbo 117.7°, que al tratarse de una modelación 1D define el sentido en el que se ha definido el perfil batimétrico.

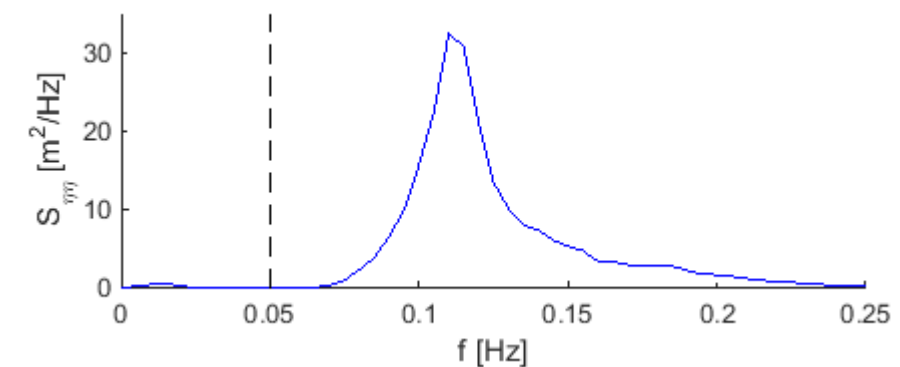


Figura 37. Espectro de la condición de contorno utilizada.

### 11.3 Resultados

Los resultados constan de dos partes, la primera en el estado actual y la segunda con la propuesta de dique sumergido. Como se verá a continuación los resultados son muy similares, con la salvedad de que el estado correspondiente al dique sumergido parte de una condición inicial en la que la playa ha crecido por efecto del dique, siendo esta la única diferencia. La hidrodinámica, morfodinámica y transporte de sedimentos son muy similares, por ello no se incluyen todas las figuras. En los anejos de este documento se pueden ver perfiles a lo largo de toda la simulación y series temporales.

### 11.3.1 Estado actual

Una vez introducidos todos los datos en el modelo se obtienen los resultados. Al no disponer de datos reales de episodios y mediciones no existe fase de calibración. La Figura 38 muestra los resultados de niveles de agua, descompuestos en *setup* y en ondas, onda corta y onda larga. Puede verse una penetración del oleaje superior a los 40 metros, a partir de esa distancia las alturas de ola son significativamente pequeñas. En la misma figura pueden verse las batimetrías, tanto iniciales como finales. Se aprecia claramente el retroceso de playa. El retroceso para este episodio de 15 años de periodo de retorno estaría sobre los 7.5 metros con un desmoronamiento importante del talud.

El punto de inundación durante el temporal se traslada a la abscisa +20 por lo tanto hay una pérdida importante de playa.

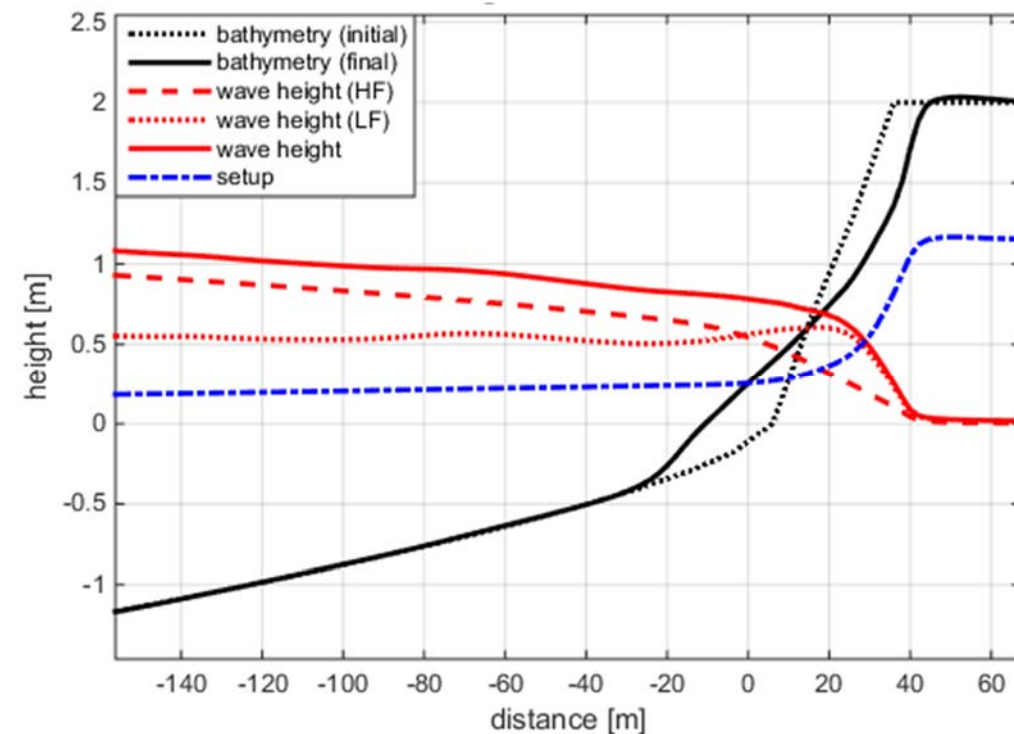


Figura 38. Valores de la media cuadrática del oleaje en sus diferentes facetas, así como evolución de la batimetría.

Este retroceso podría no ser real porque las condiciones en las que se efectúa la batimetría podrían haber sido de retroceso, por lo tanto el modelo reproduciría un retroceso sobre retroceso.

#### 11.3.1.1 Morfodinámica

La morfodinámica se corresponde con la evolución en cuanto a sedimentos. En primer lugar tenemos el análisis del volumen específico, es decir el volumen erosionado por unidad de ancho de la playa. La Figura 39 recoge los resultados obtenidos. Puede verse una tendencia al equilibrio entorno a los 20 m<sup>3</sup>/m, para una playa de 1000 metros de longitud esto significa 20.000 m<sup>3</sup> de arena perdida en el temporal. En las fases iniciales del temporal se puede ver como la velocidad de erosión es notablemente más alta.

La Figura 40 recoge el perfil de erosión a lo largo de la sección. Puede verse como esta está localizada entre las abscisas -40 y 60, a lo largo de unos 100 metros de longitud.

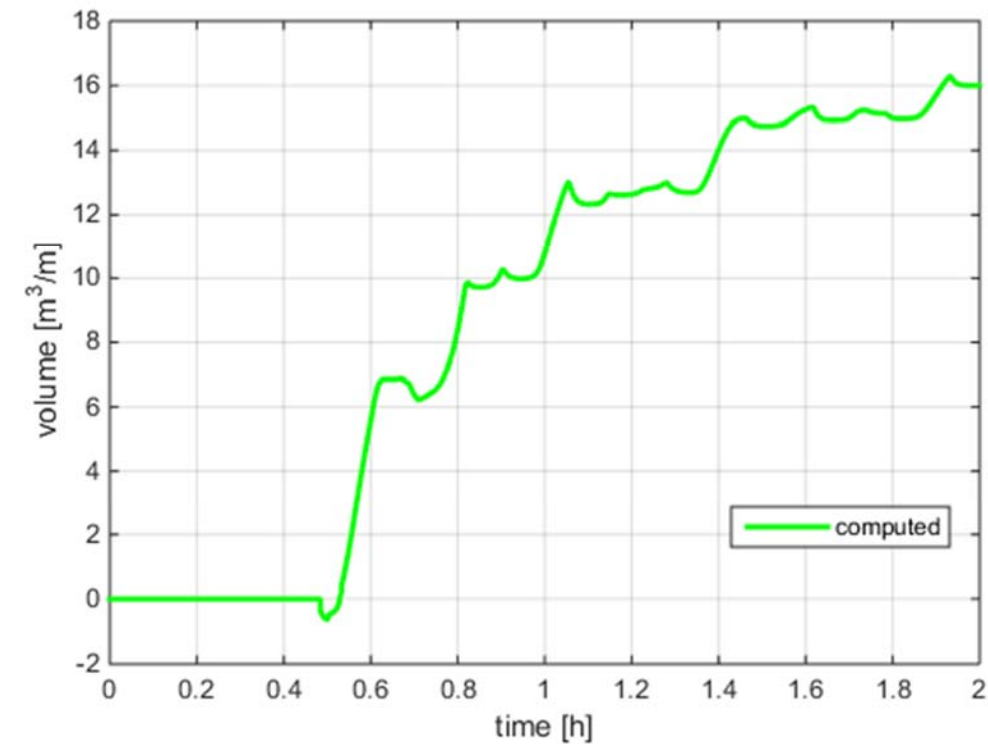


Figura 39. Evolución en el tiempo de la erosión.

El valor más alto observado de erosión es de 0.8 metros y la sedimentación de 0.5 metros. Tal y como se ha descrito en la introducción el proceso modelado supone un traslado de arena de la parte emergida de la playa a la sumergida. Debe destacarse que la falta de una batimetría detallada arroja una gran incertidumbre sobre los resultados cuantitativos aquí comentados.

La Figura 41 analiza los cambios observados en el punto de máximo alcance de la erosión. Se trata de una evolución a lo largo del tiempo de simulación del punto afecto más al interior. Puede verse que en las dos horas de simulación se alcanza la abscisa 22 m. Esto no significa que el retroceso de playa sea de 22m, de hecho el retroceso es de 7.5 m, sin embargo hay un punto situado a 22 metros de la orilla que recibe algún tipo de afectación por pequeña que esta sea.

Normalmente esta afectación es consecuencia de la llegada de alguna ola o una pequeña sedimentación/erosión.

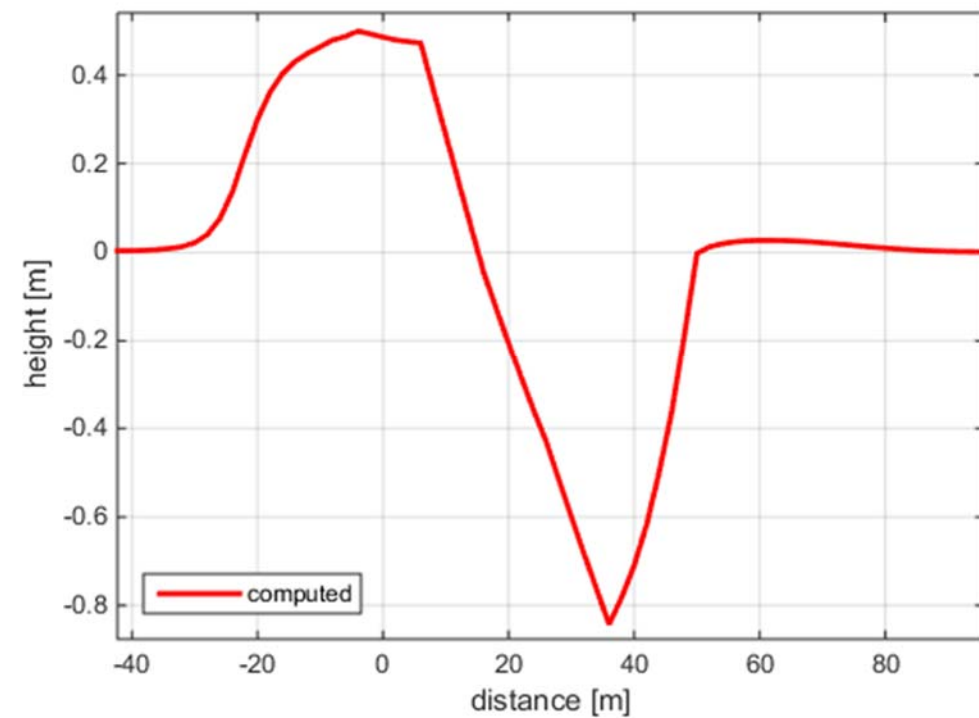


Figura 40. Balance neto de erosión a lo largo del perfil.

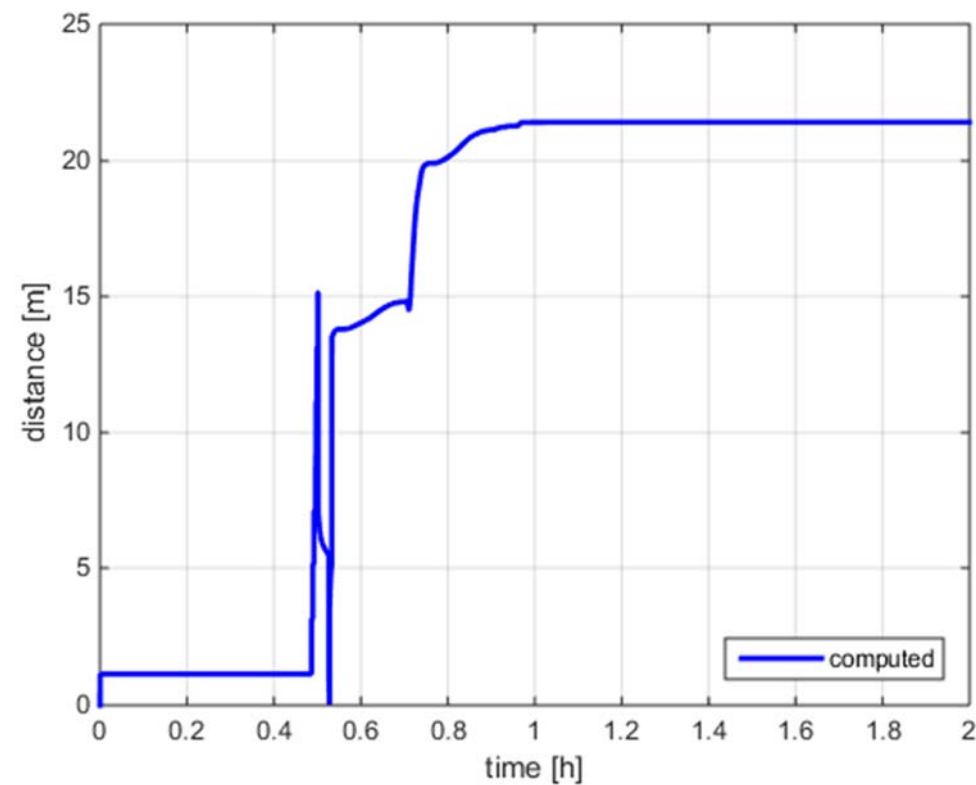


Figura 41. Penetración del retroceso de playa.

### 11.3.1.2 Hidrodinámica

La Figura 42 reproduce los valores de velocidad. Se aprecia un escalón cerca de la orilla (abscisa 0) consecuencia del perfil y sus fosos. Los valores de llegada están sobre los 1.2 m/s. Hasta los 500 metros de la orilla no aparece el efecto peralte y rotura de simetría de las ondas, esto se corresponde con una profundidad de 5 m.

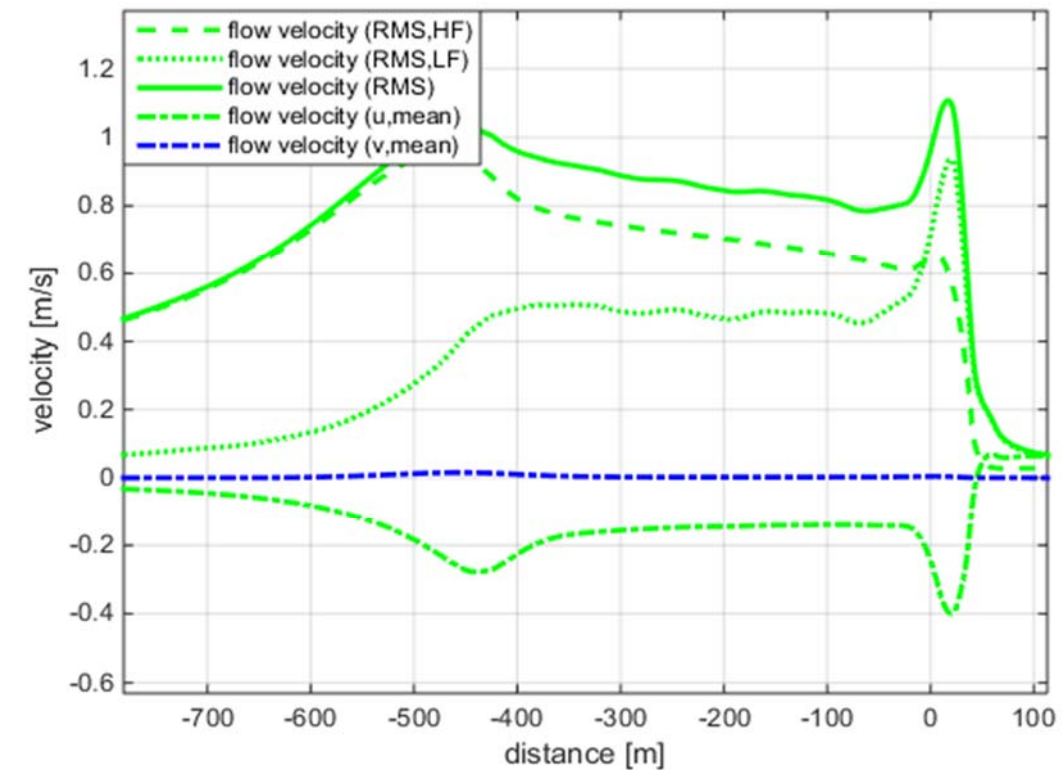


Figura 42. Velocidades medias y medias cuadráticas.

A unos 450 metros de la orilla la profundidad cae a 3 metros y dado que la ola tiene algo más de 2 metros de altura se produce la rotura. Esta rotura provoca una pérdida de energía importante, incrementada por el efecto de fricción de fondo, mucho más perceptible al entrar en aguas someras.

La Figura 43 presenta los valores de la difusividad turbulenta (viscosidad turbulenta). Se trata de uno de los mecanismos fundamentales de disipación de energía. Puede venir generada por la fricción de fondo o por la rotura de olas. Se aprecia claramente como es máxima en las cercanías de la orilla (abscisa 0). A lo largo del runup se disipa en forma de calor o se transmite al aire mediante la espuma.

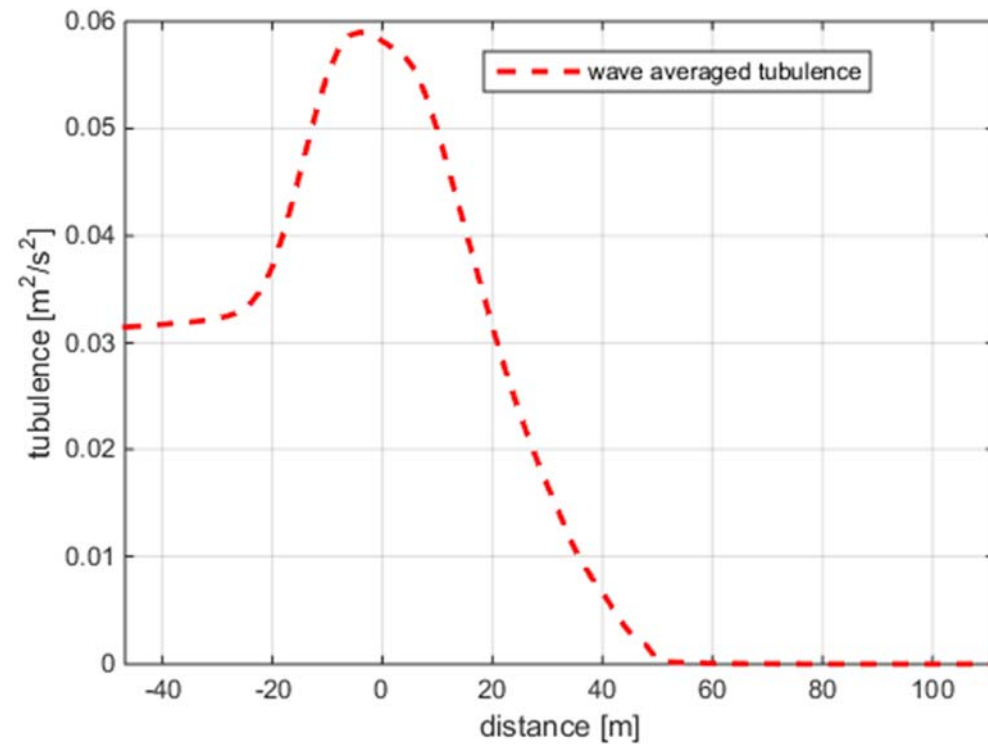


Figura 43. Valores de difusividad turbulenta medios a lo largo de la simulación.

### 11.3.1.3 Transporte de sedimento

La evolución morfológica de la playa se produce debido a las variaciones en el transporte de sedimento. Éste viene dirigido por la hidrodinámica, de forma que tiene un papel de trazador "pasivo" viajando por el agua, pero a su vez modifica el perfil de playa, condicionando la hidrodinámica, es decir "activamente".

La Figura 44 presenta los valores de concentración, parece claro que en la zona de la orilla son mucho más altos, llegando a 25 gramos por litro de agua. Tener unos valores más altos indica que la cantidad de sedimento por unidad de volumen agua es mayor, pero no significa que el total de sedimento movilizado sea más alto ya que el volumen de agua movilizado es menor a partir de la orilla. Así que lo esperable es que visualmente se aprecia una cantidad de sedimento creciente en la orilla pero la realidad es que la cuantía total se va reduciendo.

La Figura 45 representa los valores de transporte total y se aprecia claramente el efecto comentado. El caudal total de sedimento decrece a partir de la abscisa 20 pero en la Figura 44 se ve como la concentración sigue subiendo.

La Figura 45 presenta además la segregación por tipo de transporte. Se puede comprobar como el 95% del transporte se realiza en suspensión, llegando a 1 litro por segundo por metro de playa. Téngase en cuenta que para una playa de 500 metros esto significa una tonelada por segundo.

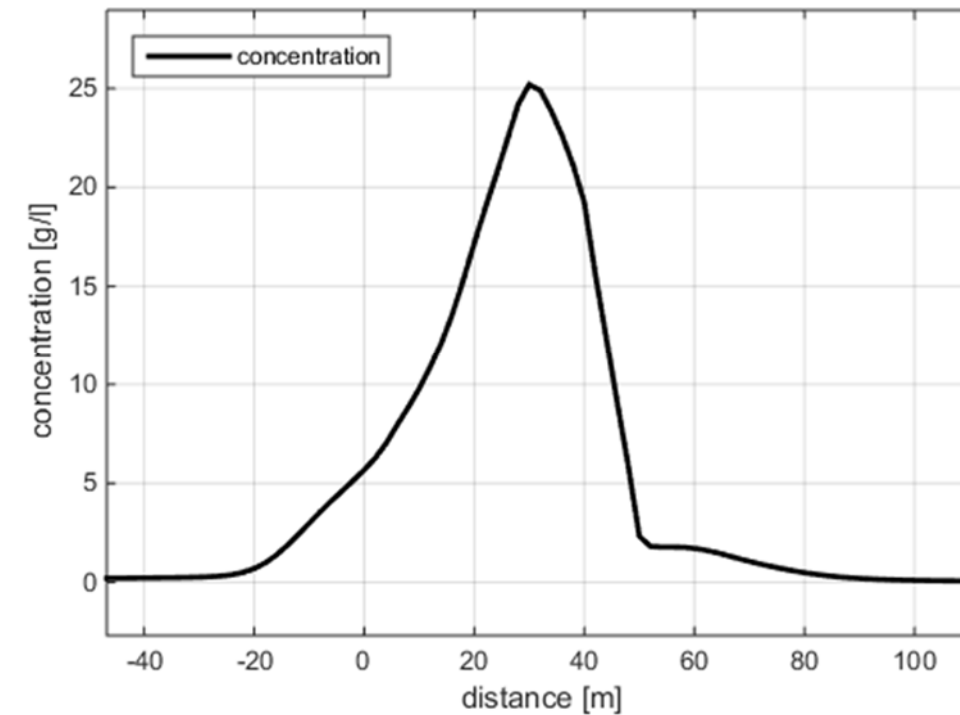


Figura 44. Concentración de sedimento media a lo largo del episodio.

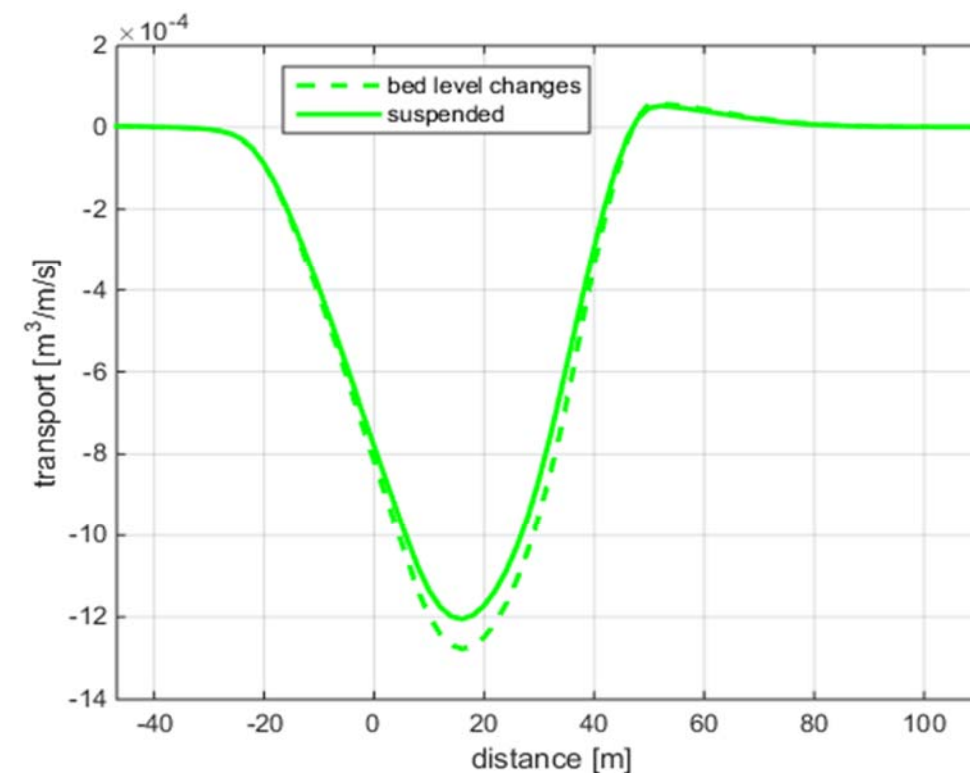


Figura 45. Transporte de sedimentos segregado por tipo y promediado a lo largo de la simulación.

La Figura 46 representa la segregación del transporte de sedimento por el mecanismo hidrodinámico que lo induce. Se puede ver la contribución de las ondas cortas y de las largas. Debe recordarse que el modelo seleccionado para el cálculo es el modelo no estacionario, que superpone un cálculo de onda larga y otro de onda corta. Por lo tanto es posible calcular el transporte sólido asociado a cada una de las ondas.

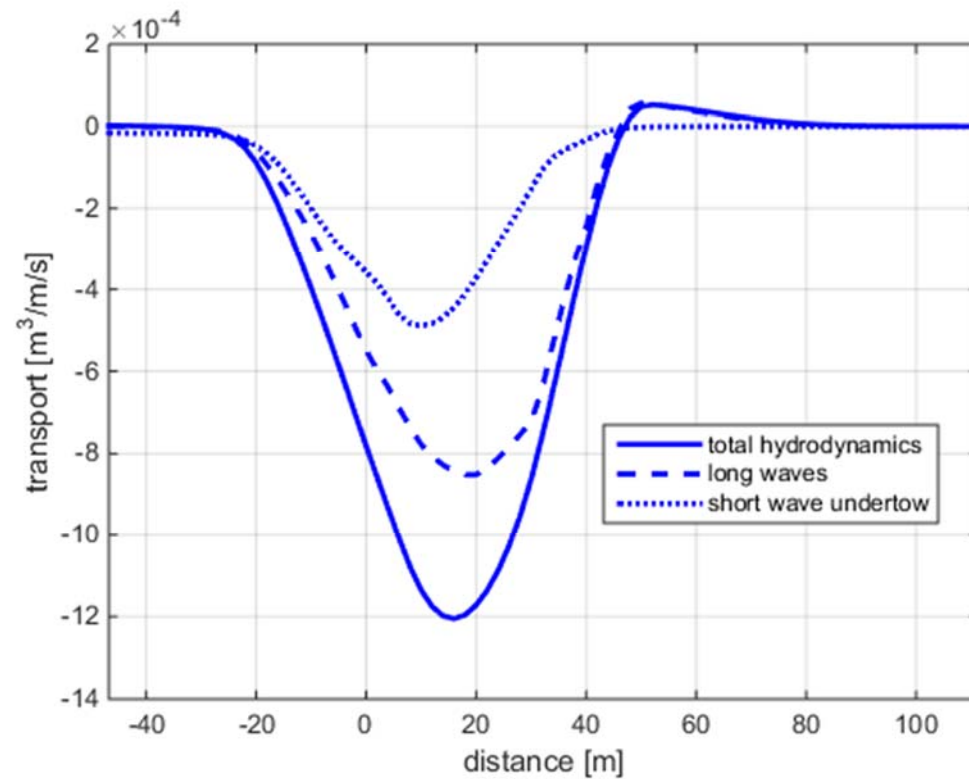


Figura 46. Transporte de sedimentos segregado por mecanismo hidrodinámico y promediado a lo largo de la simulación.

De la figura puede verse que los valores de cada uno de ellos son similares en el máximo, pero durante el runup las ondas cortas prácticamente no tienen contribución.

### 11.3.2 Propuesta de dique sumergido

Tal y como se cita anteriormente este escenario contempla el probable aterramiento debido a dique sumergido, así que se modela modificando la batimetría y fijando los puntos correspondientes al dique sumergido como puntos no erosionables. Debido al desmoronamiento del perfil de playa durante el episodio el sedimento bascula sobre la cota de inundación, de manera que la orilla sufre un aterramiento, no una erosión. Sin embargo es la duna la que aporta el sedimento, por lo tanto sufriendo erosión.

Los resultados correspondientes al perfil aparecen en la Figura 47, donde de forma esperable se aprecia como hay un traslado importante de la erosión, el retroceso de la playa es del mismo orden del observado en el

estado actual, sobre los 7 metros, pero la reserva de arena es mucho más importante por la acreción de la playa conseguida con el dique sumergido. Puede apreciarse como la línea de orilla al inicio del episodio se ha situado sobre la abscisa del dique sumergido, en la proximidad del -20. La línea de inundación máxima se mantiene prácticamente en abscisa o cuando en el estado actual se había trasladado hasta la abscisa +20. Esta línea de inundación se identifica en el cruce entre el perfil batimétrico (línea negra continua) con la línea de superficie de agua (línea roja).

Así que, de forma previsible, la reserva de arena adicional actúa de barrera limitando el alcance del retroceso. Por otra parte la presencia del dique sumergido garantiza la recuperación de la playa al finalizar el temporal.

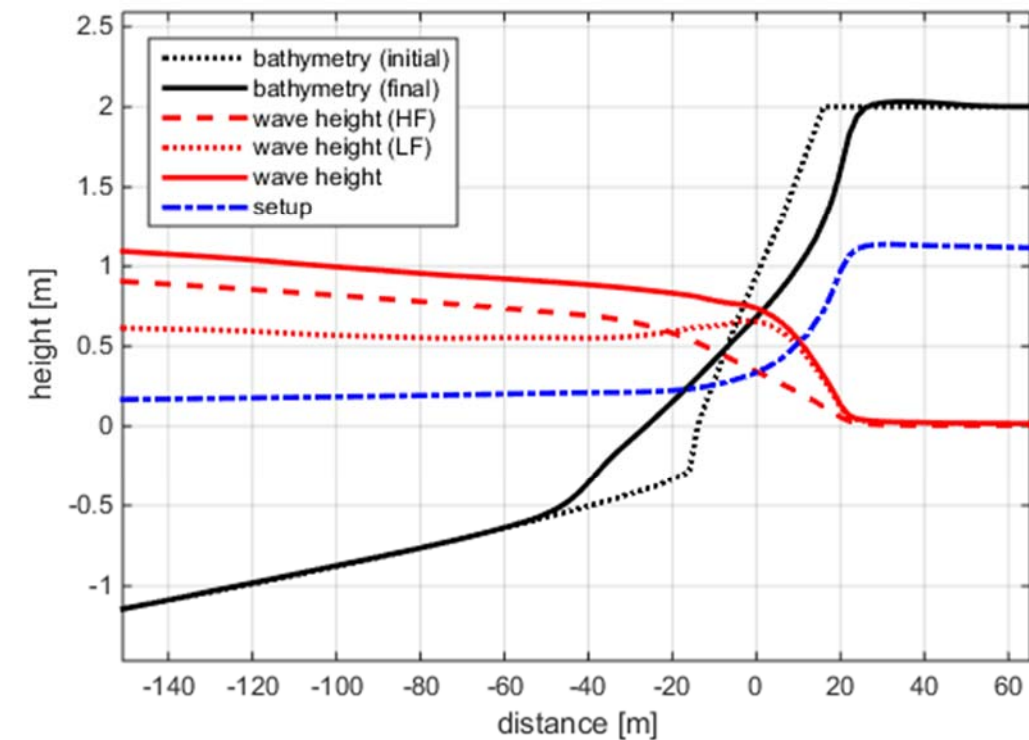


Figura 47. Resultado de erosión y oleaje para el escenarios de proyecto.

Los valores morfodinámicos, hidrodinámicos y sedimentológicos de este escenario son prácticamente iguales al escenario anterior, pero trasladados a la nueva posición de la orilla, equivaliendo a un traslado a la izquierda de 20 metros (posición del dique sumergido).

## 12 Conclusiones

1. Se ha realizado un análisis comparativo del clima marino extremal a partir de las diversas fuentes y estudios existentes. Este análisis ha dado valores a profundidades indefinidas y a profundidad de cierre

en el área de estudio. Los valores de altura de ola y periodo de pico quedan recogidos en la Figura 6 y la Figura 16.

- De la misma forma se ha establecido el clima medio, con valores de entre 1 y 1.5 metros de altura de ola significativa y entre 6 y 7 segundos de periodo.
- El análisis geomorfológico de la playa de Gavà revela una trayectoria algo errática pero con una cierta tendencia a la erosión, fijada en 1 m/año.
- Los estudios anteriores, más detallados, establecían 0.4 m/años como velocidad de erosión.
- Se recomienda el uso de alguna medida correctora de bajo impacto, proponiendo el uso de un dique sumergido. Se evalúa la utilización de geotubos para la construcción del dique. El impacto más visible de dique sumergido es la presencia del geotubo en la línea de orilla, así que debe considerarse el impacto visual.
- Con la instalación del dique sumergido se asume que la línea de costa se trasladará a la traza de los geotubos, de manera que debe definirse su posición. A partir de la evolución histórica de la playa se establece 20 metros como la distancia a la que deben situarse los geotubos bajo el agua. De manera que se prevee, en base a las experiencias existentes que la línea de orilla pasara de la abscisa 0 a la -20.
- En el caso de disponer de una batimetría con mayor detalle deben repetirse los cálculos puesto que era el punto de mayor incertidumbre en este proyecto. Trasponer este estudio en un proyecto constructivo requiere la realización de una batimetría detallada y repetir los cálculos.
- Se ha validado la propuesta estructural de medidas correctoras mediante modelo numérico, usando dos escenarios correspondientes al estado actual y el de proyecto. El escenario de proyecto contempla el esperado aterramiento entre dique y playa de manera que el efecto de la estructura es hidrodinámico y como reserva de arena. Dado que la posición del dique sumergido es 20 metros mar adentro se busca un crecimiento de 20 metros en la playa, previo al evento extremo.
- Sin la medida correctora, con un episodio de 15 años de periodo de retorno se obtiene un retroceso de 7 metros y la orilla se traslada a la abscisa +20.
- Con la medida correctora el resultado es el esperable, únicamente se produce un traslado de los efectos unos 20 metros mar adentro.
- La reserva de arena aumenta notablemente y actúa de duna. A efectos prácticos la orilla durante el evento se mantiene en abscisas negativas, garantizando, al menos, el estado actual de la playa.
- El perfil batimétrico disponible no justifica un cálculo evolutivo más completo. En fase de proyecto si se parte de datos de mayor calidad se puede realizar un barrido de casos asociados a clima medio y clima extremal para garantizar el funcionamiento en todas las condiciones.
- Disponer de un perfil más detallado permitiría evaluar incluso el paulatino proceso de aterramiento a partir del dique. Las experiencias anteriores apuntan a que entre 1 y 2 años se debería haber estabilizado la línea de orilla.

## 13 Anejos

Los documentos adjuntos a esta memoria son:

- "01 Llibre verd 2\_2\_00\_01\_Platges\_Tram8.pdf": Documento perteneciente al "Llibre verd" con las playas de la unidad fisiográfica 8, donde se sitúa la playa de Gavà.
- "02 BLGA030\_Fitxa\_descriptiva.pdf": Datos de la playa BLGA030 (Gavà).
- "03 BLGA030\_Descripcio\_granulometrica\_sediment.pdf": Documento perteneciente al "Llibre verd" con datos granulométricos de la playa de Gavà.
- "04 BLGA030\_Perfil\_platja.pdf": Evolución de los perfiles de playa en Gavà, según el "Llibre verd".
- "05 h-t-direccionals\_de\_les\_boies\_tordera\_i\_llobregat.pdf": Datos de la boya XMET del Llobregat.
- "06 MODELO Estado actual perfiles de oleaje.pdf": Resultados del modelo numérico para el estado actual con los perfiles de oleaje y fondo cada 30 segundos. Se supone que son también representativos del estado de proyecto dado la similitud de resultados entre ambos escenarios.
- "07 MODELO Estado actual series temporales de fondo.pdf": Resultados del modelo numérico para el estado actual con las series temporales de fondo cada 30 segundos. Se supone que son también representativos del estado de proyecto dado la similitud de resultados entre ambos escenarios.
- "08 MODELO Estado actual series temporales de oleaje.pdf": Resultados del modelo numérico para el estado actual con las series temporales de oleaje cada 30 segundos. Se supone que son también representativos del estado de proyecto dado la similitud de resultados entre ambos escenarios.

## 14 Bibliografía

- Agustin Sanchez-Arcilla, Vicenç Gracia, X. G. & Garcia, M. (2015), Proposta per al predisseny de solucions tipus per a estabilitzar les platges del municipi de gavà, Technical report, LIM-UPC.
- Alvarez, E., Rubio, R. & Ricalde, H. (2007), 'Beach restoration with geotextile tubes as submerged breakwaters in yucatan, mexico', *Geotextiles and Geomembranes* **25**(4), 233–241.
- Booij, N., Ris, R. & Holthuijsen, L. H. (1999), 'A third-generation wave model for coastal regions: 1. model description and validation', *Journal of geophysical research: Oceans* **104**(C4), 7649–7666.
- Camus, P., Mendez, F. J., Medina, R., Tomas, A. & Izaguirre, C. (2013), 'High resolution downscaled ocean waves (dow) reanalysis in coastal areas', *Coastal Engineering* **72**, 56–68.
- Center, C. E. R. (1984), *Shore Protection Manual*, Vol. 1, Department of the Army, US Army Corps of Engineers.
- CIIRC (2010), Estat de la zona costanera a catalunya, Technical report, Departament de Política Territorial i Obres Públiques (Generalitat de Catalunya).
- CIIRC (2012), Estudi de la dinàmica i problemàtica de les platges de gavà i viladecans, Technical report, Departament de Política Territorial i Obres Públiques (Generalitat de Catalunya).

Dean, R. G. (1991), 'Equilibrium beach profiles: characteristics and applications', *Journal of coastal research* pp. 53–84.

Ferreira, J. & Soares, C. G. (1998), 'An application of the peaks over threshold method to predict extremes of significant wave height', *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* **120**(3), 165–176.

Galappatti, G. & Vreugdenhil, C. (1985), 'A depth-integrated model for suspended sediment transport', *Journal of Hydraulic Research* **23**(4), 359–377.

Hallermeier, R. J. (1981), 'A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate', *Coastal engineering* **4**, 253–277.

Hasselmann, K., Barnett, T., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D., Enke, K., Ewing, J., Gienapp, H., Hasselmann, D., Kruseman, P. et al. (1973), Measurements of wind-wave growth and swell decay during the joint north sea wave project (jonswap), Technical report, Deutsches Hydrographisches Institut.

Holthuijsen, L., Booij, N. & Herbers, T. (1989), 'A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents', *Coastal Engineering* **13**(1), 23–54.

Kirby, J. T. & Dalrymple, R. A. (1983), 'A parabolic equation for the combined refraction–diffraction of stokes waves by mildly varying topography', *Journal of Fluid Mechanics* **136**, 453–466.

Losada, I., Izaguirre, C. & Diaz, P. (2014), Cambio climático en la costa española, Technical report, Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

Madsen, H., Pearson, C. P. & Rosbjerg, D. (1997), 'Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events: 2. regional modeling', *Water Resources Research* **33**(4), 759–769.

Madsen, H., Rasmussen, P. F. & Rosbjerg, D. (1997), 'Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events: 1. at-site modeling', *Water resources research* **33**(4), 747–757.

Pierson, W. J. & Moskowitz, L. (1964), 'A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of sa kitaigorodskii', *Journal of Geophysical Research* **69**(24), 5181–5190.

Roelvink, D., e. a. (2009), *XBeach Model Description and Manual Delft*, Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology.

Sánchez-Arcilla, A. & José A. Jiménez, H. I. V. (2008), Estat de la zona costanera a catalunya, Technical report, LABORATORI D'ENGINYERIA MARITIMA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

Teh-fu, L. & Feng-shi, M. (1980), 'Prediction of extreme wave heights and wind velocities', *Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division* **106**(4), 469–479.

Tomas, A., Medina, R., Méndez, F. J., Jaime, F. F., Castellanos, O., Higuera, P., Fernandez, F., Minguez, R., Diaz-Hernandez, G., Lara, J. & Ortiz, M. (2013), Metodología para la elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación costera en españa (iole), in 'XII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Cartagena, España'.

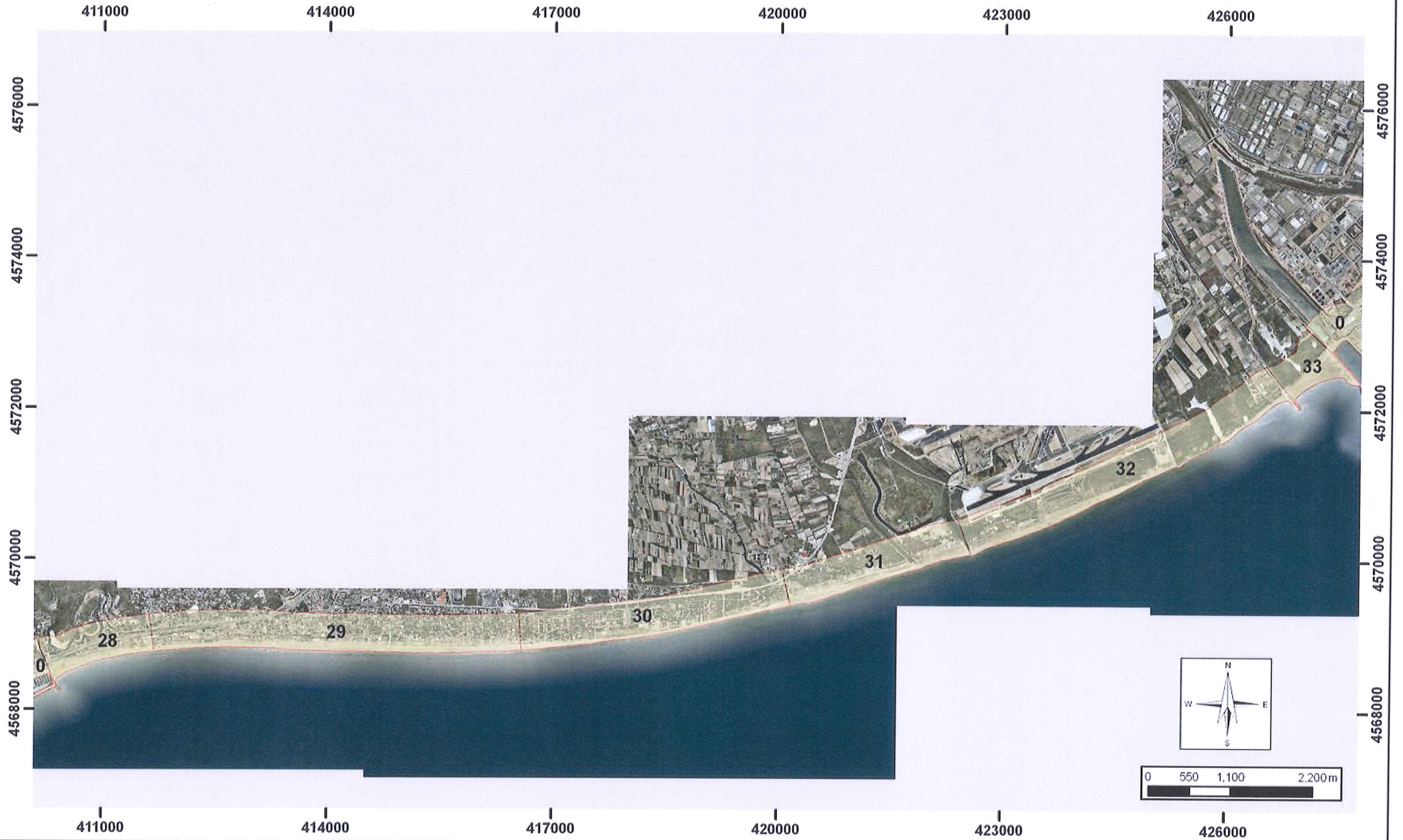
Zijlema, M., Stelling, G. & Smit, P. (2011), 'Swash: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters', *Coastal Engineering* **58**(10), 992–1012.



ANEJO 1. Llibre verd 2\_2\_00\_01\_Platges Tram8



# Platges Tram 8









PI. de Gavà		BLGA030			
Comarca:	Baix Llobregat	T.M.	Gavà	Localització (UTM)	418296 4569009
<b>Descripció general</b>		<b>Morfodinàmica</b>		<b>Hidrodinàmica</b>	
<b>Longitud<sup>1</sup> (m):</b>	3640	<b>Tipus de platja (segons extrems)</b> extrem llevant: extrem ponent:	<b>Oberta</b>	<b>Clima d'onatge<sup>4</sup></b> quadrant: Hs mitjana (m): Tp mitja (s) Direcció més freqüent <sup>5</sup> : Direc. flux d'energia resultant <sup>5</sup> : Hs amb T <sub>R</sub> 10 anys (m): Hs amb T <sub>R</sub> 100 anys (m)	IV (Llobregat) 0.74 6.00 202° SSW 18.7% 256° 4.69 5.90
<b>Amplada<sup>1</sup> (m)</b> mitja: màxima: mínima:	61 100 34	<b>Estat evolutiu<sup>3</sup>:</b> Comportament evolutiu <sup>3</sup> evolució mitja (m/a): erosió mitja (m/a): long. zona d'erosió (m): acreció mitja (m/a): long. zona d'acreció (m): long. zona d'equilibri (m): anàlisi (esquema)	<b>ERO</b> -0.4 -0.8 2494 +0.5 867 286	<b>Nivell del mar<sup>6</sup></b> rang (m): nivell amb T <sub>R</sub> 10 a (m): nivell amb T <sub>R</sub> 100 a (m):	0.44 0.54 0.75
<b>Superfície<sup>1</sup> (m<sup>2</sup>):</b>	217062	<b>Presència de obstacles (S/N):</b> tipus: nombre:	<b>S</b> Espigó	<b>Remunta del onatge</b> mitja (m): Ru amb T <sub>R</sub> 10 anys (m): Ru amb T <sub>R</sub> 100 anys (m)	1.3 3.6 4.3
<b>Altura berma<sup>2</sup> (m)</b> mitja: màxima: mínima:	1.4 1.9 0.8	<b>Obres d'alimentació (S/N):</b> volum (m <sup>3</sup> ): tipus material: Ultima aportació data: volum (m <sup>3</sup> ): tipus material:		<b>Onatge (esquemes)</b>  <b>Corrents (esquemes):</b>	
<b>Pendent estran<sup>2</sup></b> mitja: màxima: mínima:	0.25	<b>Estat morfoodinàmic modal:</b>	1-2 Intermedi		
<b>Sediment<sup>2</sup></b> d <sub>50</sub> (mm): σ (mm): color:	0.390 / 0.307 0.094 / 0.130 Torrat / Torrat	<b>Profunditat tancament (m):</b>	6.35		
<b>Orientació mitja platja<sup>1</sup>:</b> (° dreta respectu al N)	80	<b>Taxes transport longitudinal</b> net (m <sup>3</sup> /a): brut (m <sup>3</sup> /a): cap a ponent (m <sup>3</sup> /a):	75000 545000 273000		
<b>Batimetria recent (S/N):</b> codi: any					

Aspectes mediambientals		Ús			
<b>Massa de aigua costanera DMA (ACA):</b>	C22 El Prat de Llobregat- Castelldefels	<b>Tipus d'ús principal:</b>	Turístic/Recreatiu	<b>Accés:</b>	PM/Vial Urbà
<b>Tipus entorn:</b>	Urbà-Semiurbà-Platges-Natural	<b>Altres usos/activitats:</b>	N	<b>Accés minusvàlids (S/N):</b>	S
<b>Figures o règim de protecció:</b>	-Xarxa Natura (Set 2006) ES0000146 (Delta del Llobregat)- Terrestre ES5110020 (Costes del Garraf) Marí -PEIN: DLL (Delta del Llobregat)	<b>Port (S/N):</b>	N	<b>Pàrquings (S/N): tipus:</b>	S Zona habilitada
<b>Posidònia (S/N):</b>	N	<b>Zona d'ancoratge (S/N):</b>	N	<b>Transport públic (S/N): tipus:</b>	S Bus; Tren; Aparcament bicis
<b>Habitats (terrestres)</b>	16a, 21a, 42y, 83a2, 86a, 86b,	<b>Grau d'ocupació:</b>	Moderat	<b>Problemes accés (S/N): descripció:</b>	N
<b>Habitats d'interès comunitari:</b>	1210, 2110, 2120, 2210, 2270	<b>Sistema de gestió / certificació:</b>	N	<b>Conflictes d'ús (S/N): descripció:</b>	S Irregularitats morfològiques
<b>Zones humides catalogades</b>	Delta del Llobregat-Estany de la Murtra (0530800)	<b>Característiques d'ús hinterland:</b>	Urbanització	<b>Problemes infraestructures (S/N):</b>	N
<b>Zona inclosa al PDUSC:</b>	U, UND* C1, C2, CE, CPEIN	<b>Infraestructures: passeig marítim (S/N): longitud passeig (m): altres:</b>	S Part de la platja Club Nàutic/ Emissari	<b>Afectació relacionada amb l'atenuament del domini públic (S/N):</b>	N
<b>Zona inclosa al Inuncat:</b>	DRDM03 (Perill Baix) Zona potencialment inundable	<b>Pla d'usos (S/N) :</b>	S	<b>Altres elements, problemes i conflictes (S/N):</b>	N
<b>Presència rius / rieres (S/N):</b>	N	<b>Concessions:</b>	Guingueta, informació, camp de vòlei, dutxes (2 minusvàlids) i rentapeus, bancs, passeres, restaurant, papereres, parc infantil , canal entrada/sortida, àrea de lleure (restaurant), bar restaurant, zona esportiva, cendres, font aigua potable, zona skate (Veure Pla d'Usos)		
<b>Dunes (S/N):</b>	S	<b>Il·luminació (S/N tipus):</b>	N		
<b>Col·lectors/pluvials (S/N):</b>	N	<b>Sanitaris (S/N):</b>	S		
		<b>Servei neteja (S/N):</b>	S		
		<b>Servei de salvament i socorrisme (S/N) :</b>	S		
		<b>Altres serveis / instal·lacions (S/N) :</b>	N		

ANEJO 3. BLGA030 Descripció granulométrica sediment

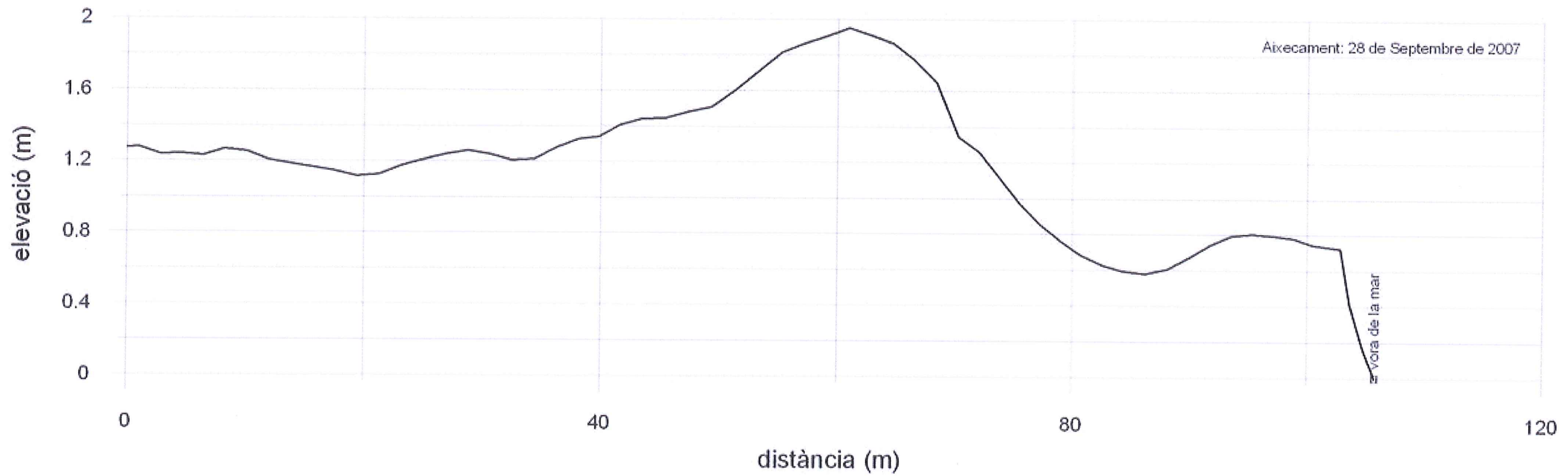
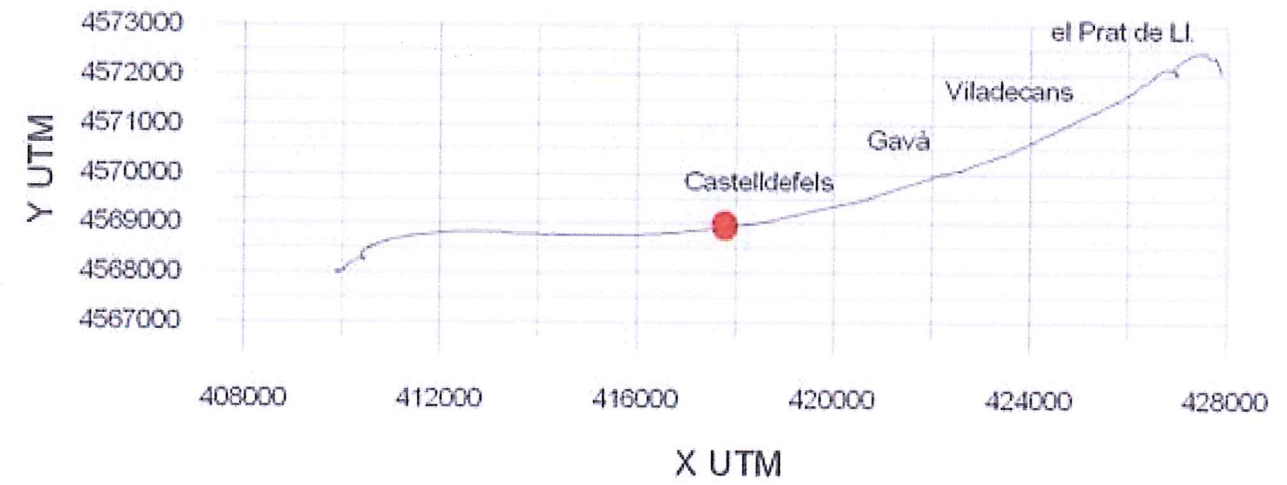






ANEJO 4. BLGA030 Perfil platja





Barcelona

Baix Llobregat

Gavà

Platja de Gavà

Tram 8

Codi: BLGA030



ANEJO 5. H-T direccionals de les boies tordera i Llobregat





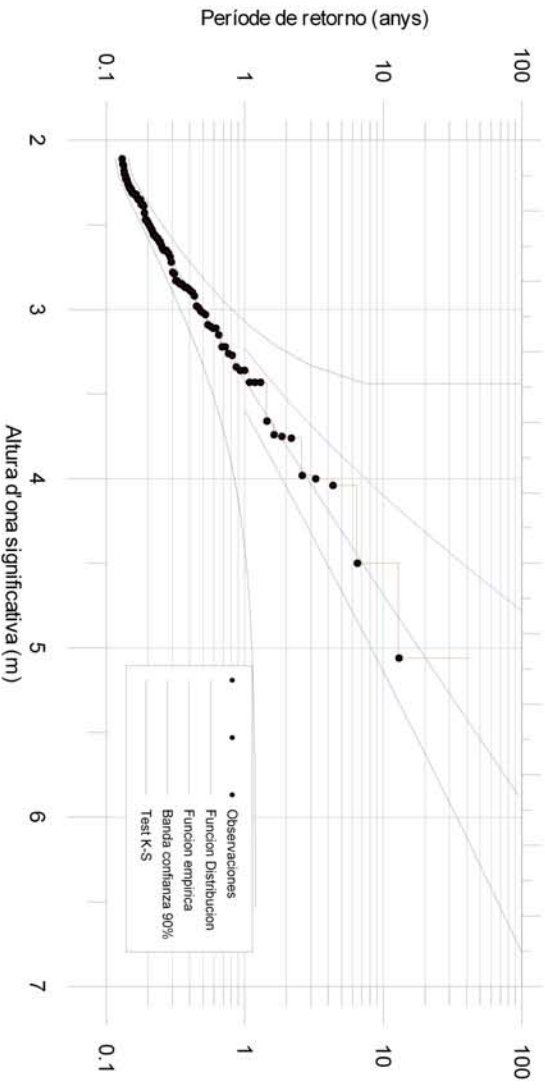
Definició de la mostra

Període del 12-05-1984 al 20-12-2007

Anàlisi de buits superiors a 24 hores	
Total de buits	3373,62 dies ( 39%)
Durada mitjana de buits	7,56 dies
Durada total amb dades	5248,38 dies ( 61%)
Durada mitjana amb dades	7,56 dies
Temps efectiu	14,37 anys

Anàlisi de temporals	
Lindar de temporal	>2 m
Num. Sectors	16
Num temporals	100
Durada mitjana	0,85 dies
Hs màxima mitjana	2,78 m
Desviació típica	0,54 m

Règim d'onatge de temporals omnidireccional



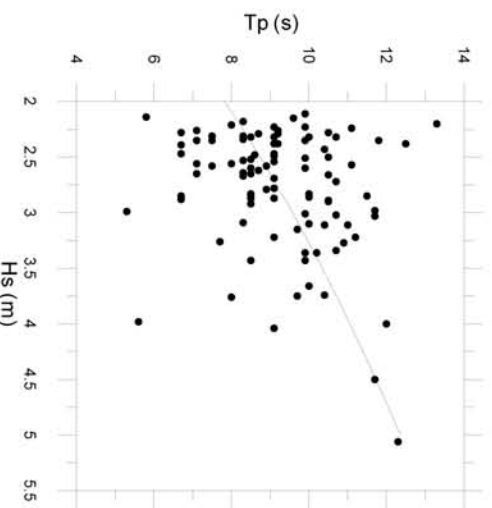
$$F(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x - A}{B} \right)^C \right]$$

$$A \leq x < \infty$$

A	B	C	r <sup>2</sup>
2,170677	0,640203	1,075288	0,996598

Tr (anys)	5	10	15	20	25	50	75	100
Hs (m)	4,31	4,69	4,90	5,06	5,17	5,54	5,75	5,90

Relació entre Hs-Tp de temporals

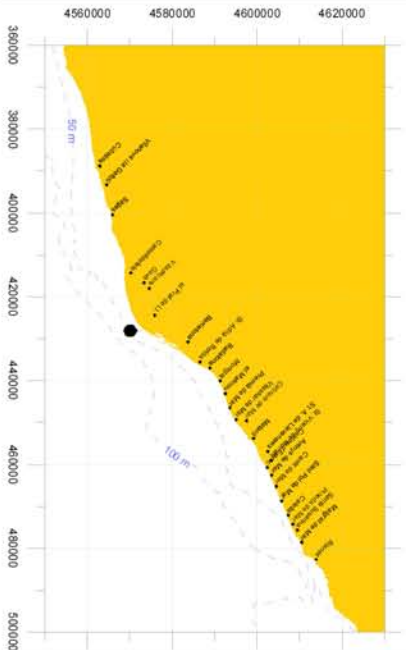


K	r <sup>2</sup>
5,52967676	0,971042

$$T_p = K \sqrt{H_s}$$



# LLOBREGAT



# Taula de contingència

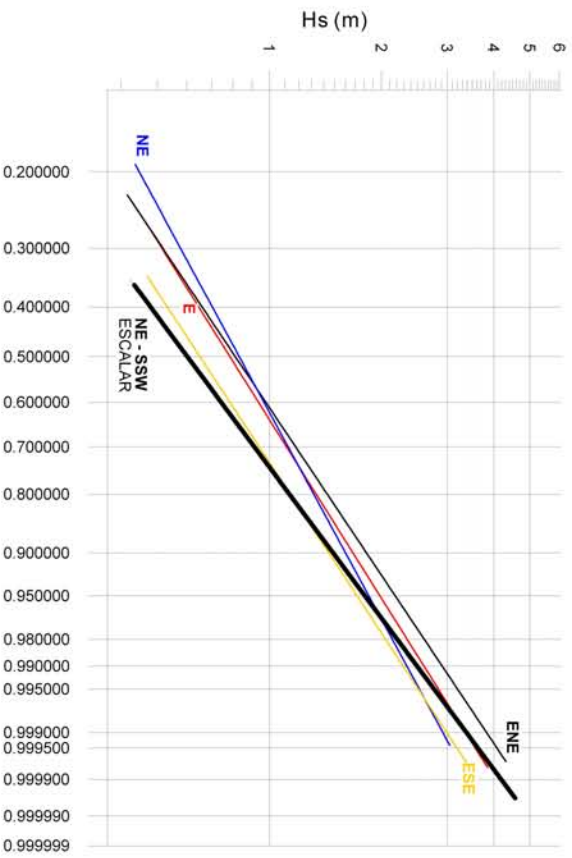
H	Tp											
	2	2	-4	4	-6	6	-8	8	-10	10	-12	>12
0.0 - 0.5	4	2325	5381	2828	233	54	8					
0.5 - 1.0	2	1068	5558	5208	932	81	3					
1.0 - 1.5	0	0	32	1023	2199	951	105	0				
1.5 - 2.0	0	0	0	1	112	636	554	108	2			
2.0 - 2.5	0	0	0	0	9	145	222	59	5			
2.5 - 3.0	0	0	0	0	2	28	71	51	6			
3.0 - 3.5	0	0	0	0	0	3	21	17	7			
3.5 - 4.0	0	0	0	1	2	4	6	4	4			
4.0 - 4.5	0	0	0	0	0	1	1	1	1			
4.5 - 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
>5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			1

# Relacio Tp - Hs

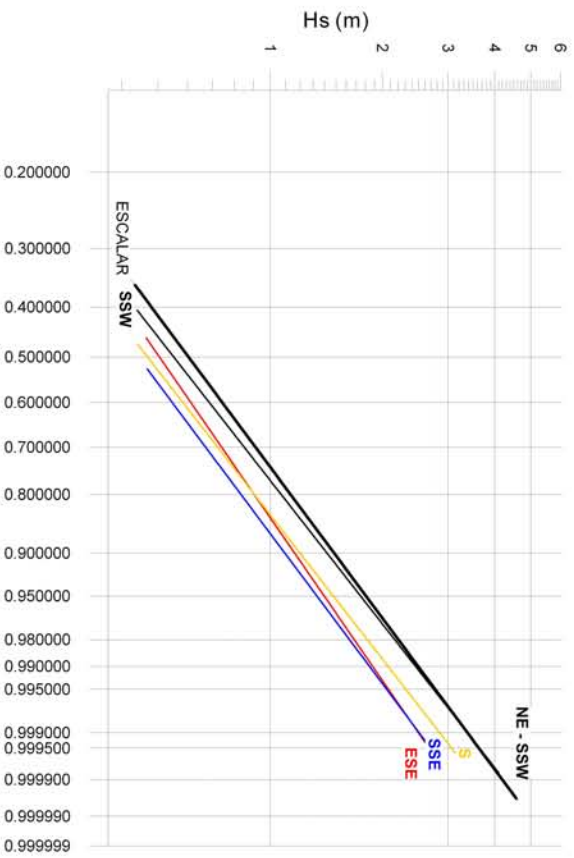
Tp = K√Hs	Escalar	K	I <sup>2</sup>
	NE - SSW	6.977 7.034	

# Règim d'onatge direccional mitjà

Obs	Coefficient direccionalitat
NE	0.78
ENE	1.00
E	0.89
ESE	0.78



Obs	Coefficient direccionalitat
SE	0.78
SSE	0.65
S	0.73
SSW	0.87



$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{B}\right)^C\right]$$

	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	NE - SSW	ESCALAR
B	1.015996	1.030053	0.989785	0.831560	0.831560	0.563173	0.624609	0.735438	0.794215	0.752946
C	1.829435	1.482362	1.580309	1.509081	1.509081	1.325323	1.274620	1.267723	1.334768	1.334899
I <sup>2</sup>	0.986225	0.985119	0.998290	0.996452	0.998729	0.997994	0.992016	0.998051	0.998051	0.998051





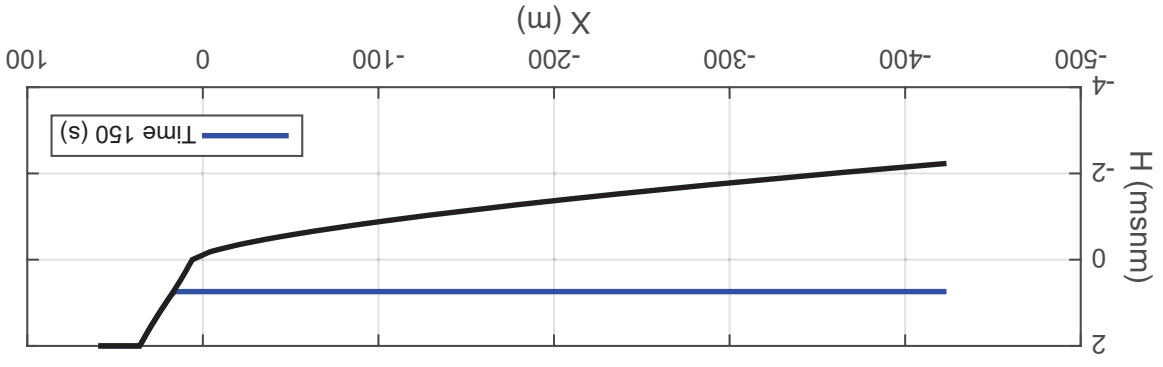
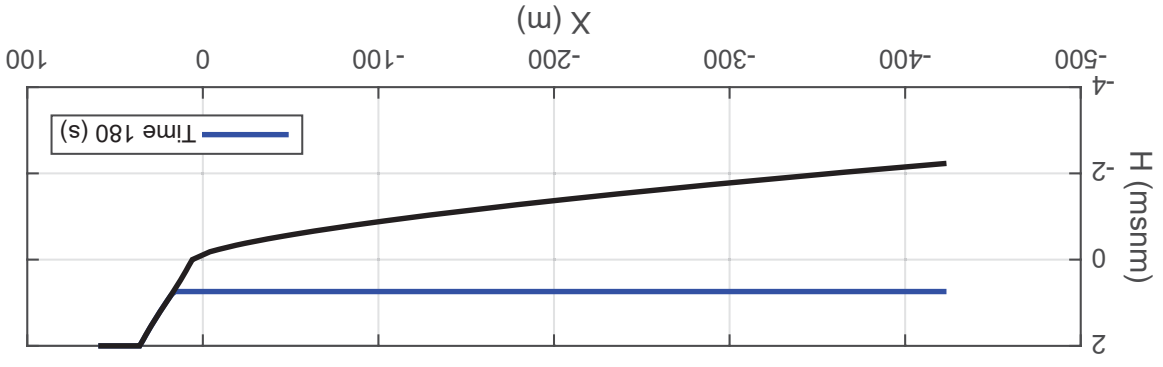
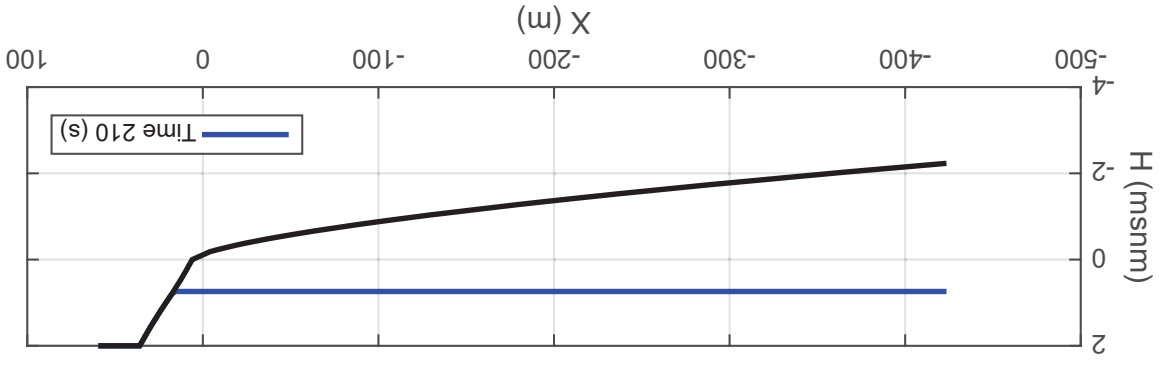
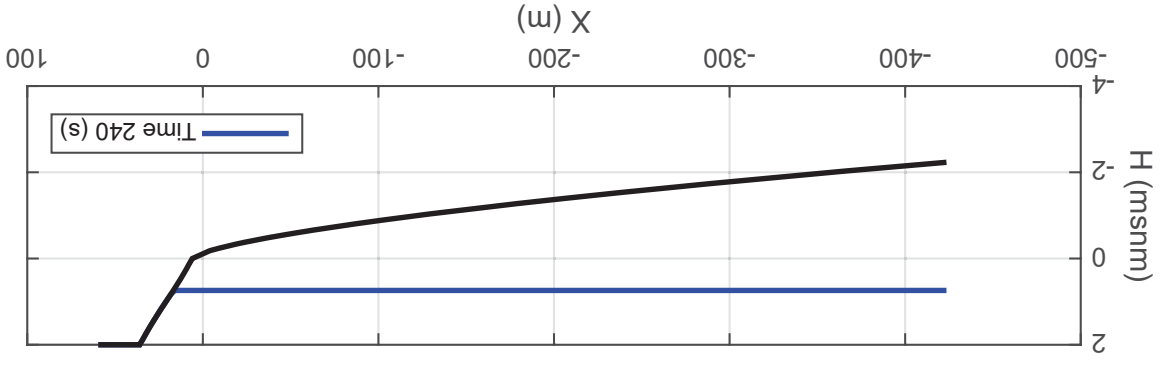
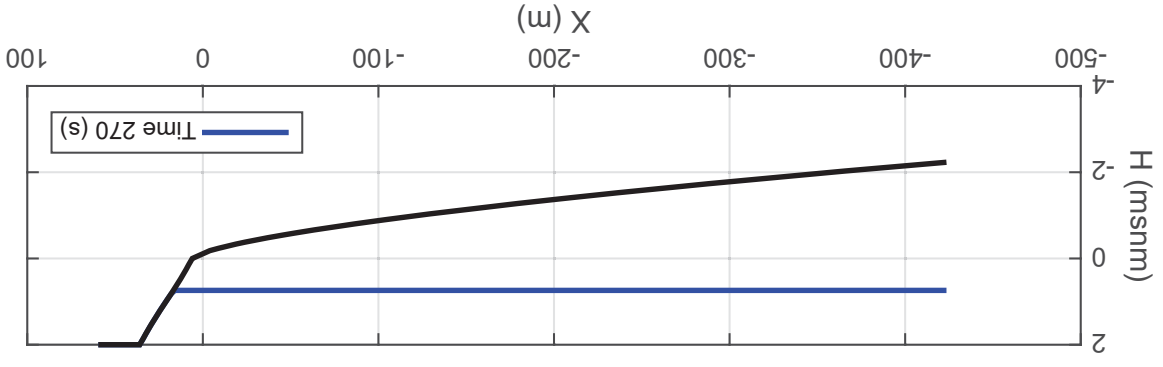
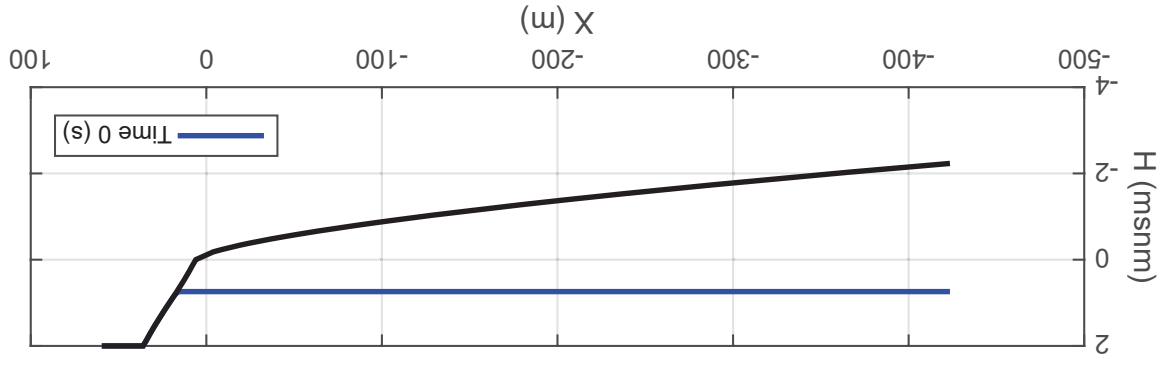
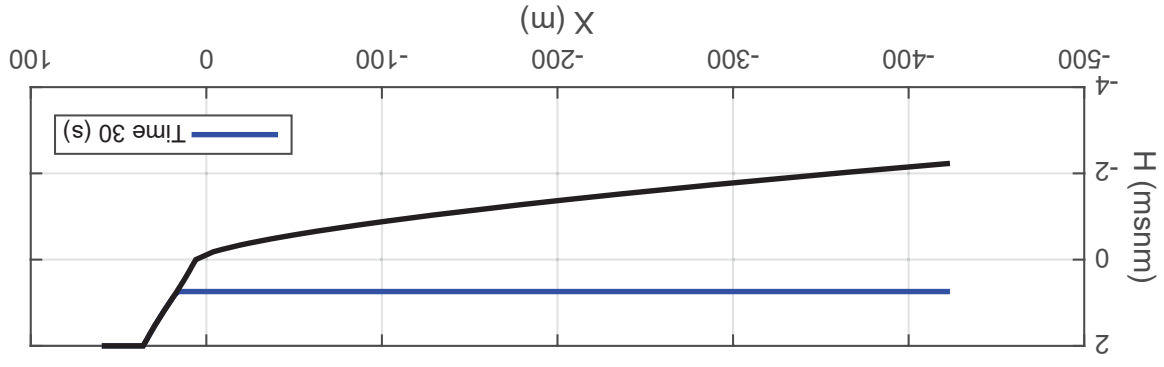
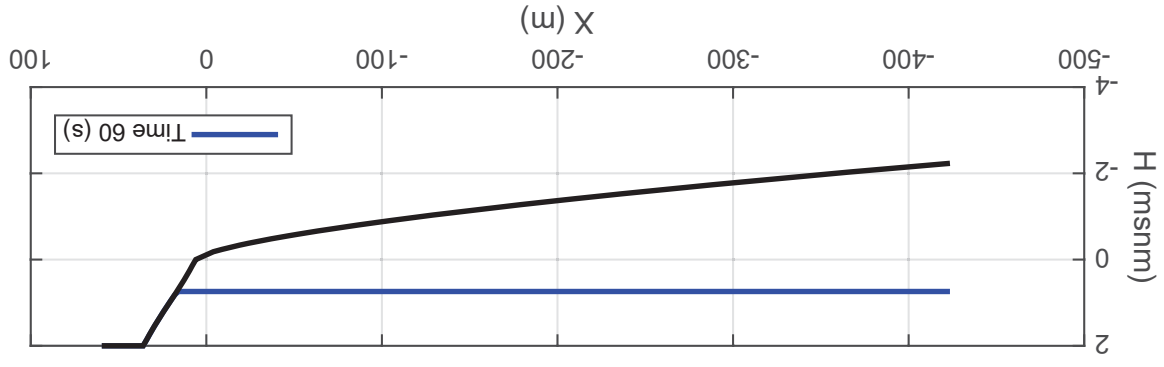
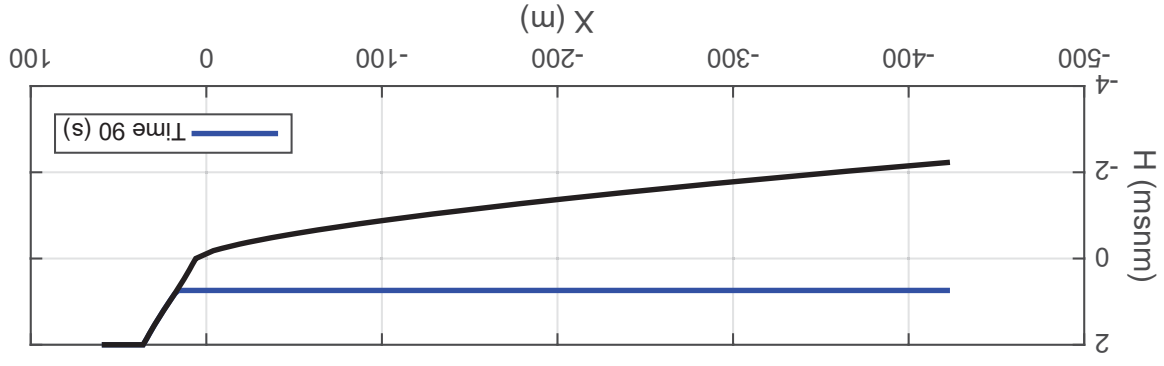
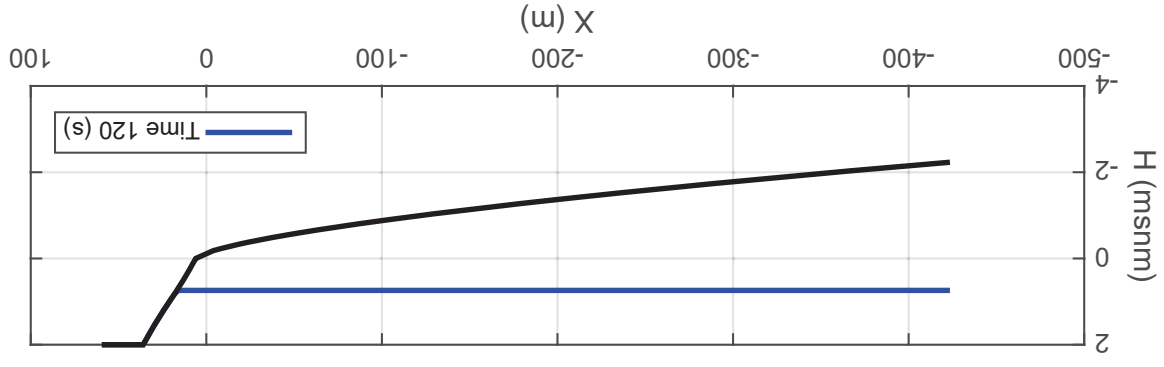


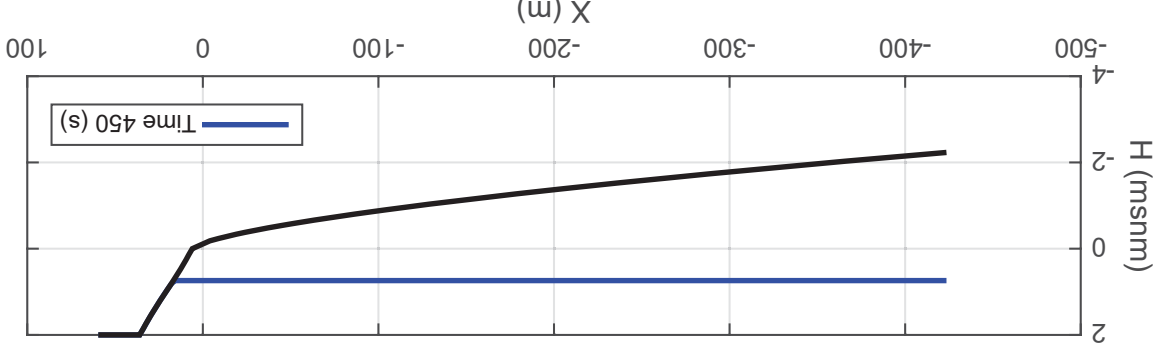
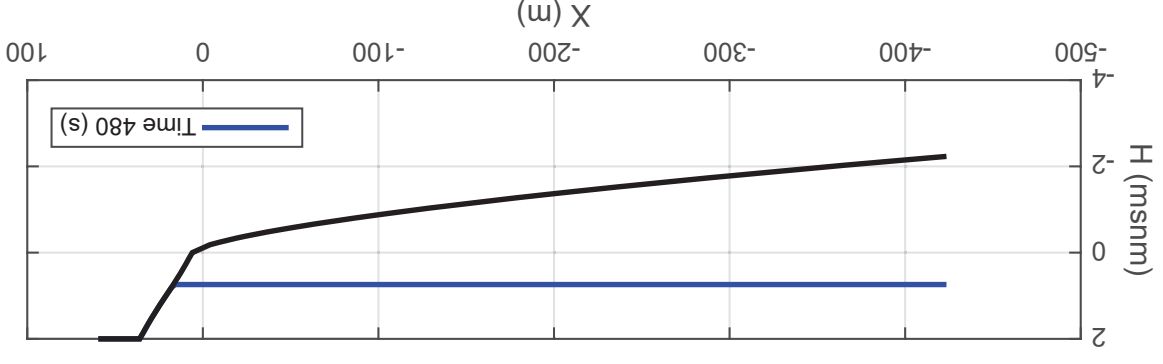
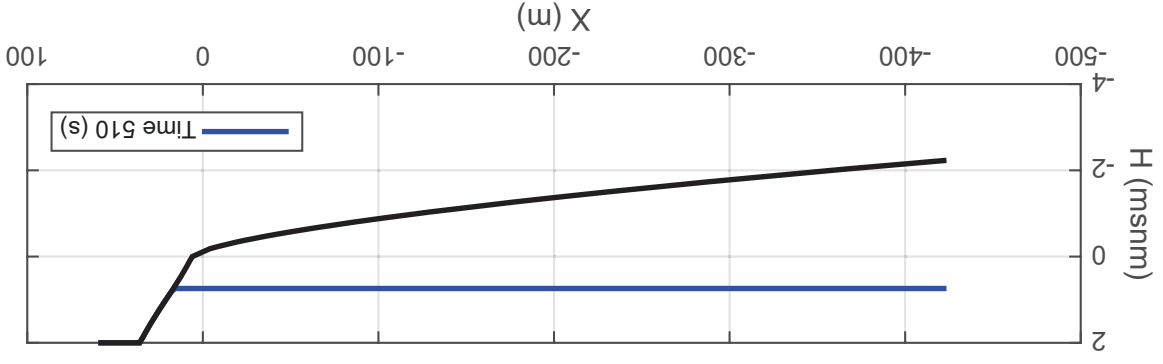
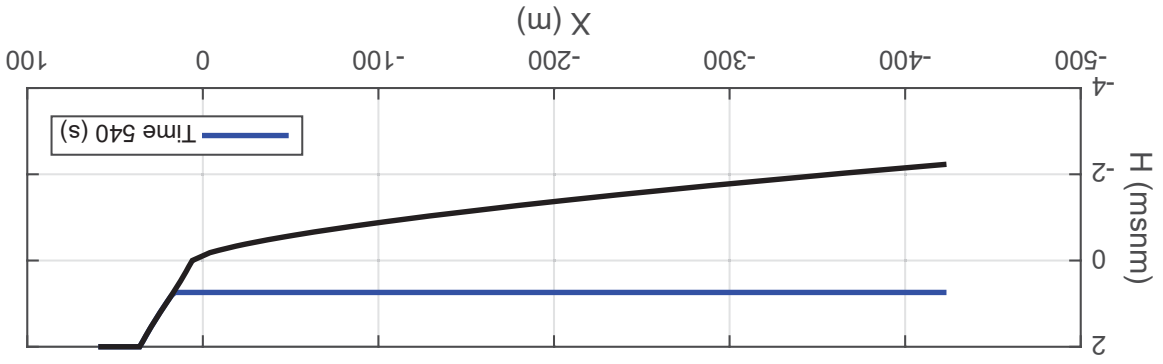
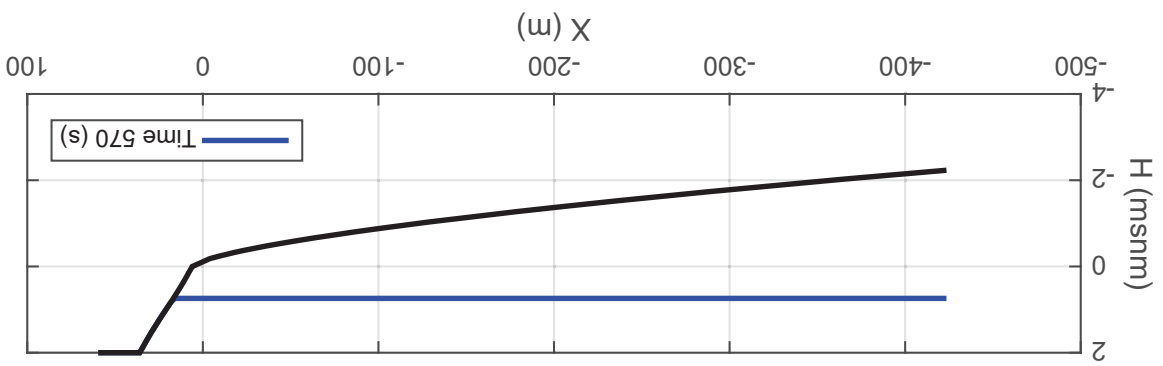
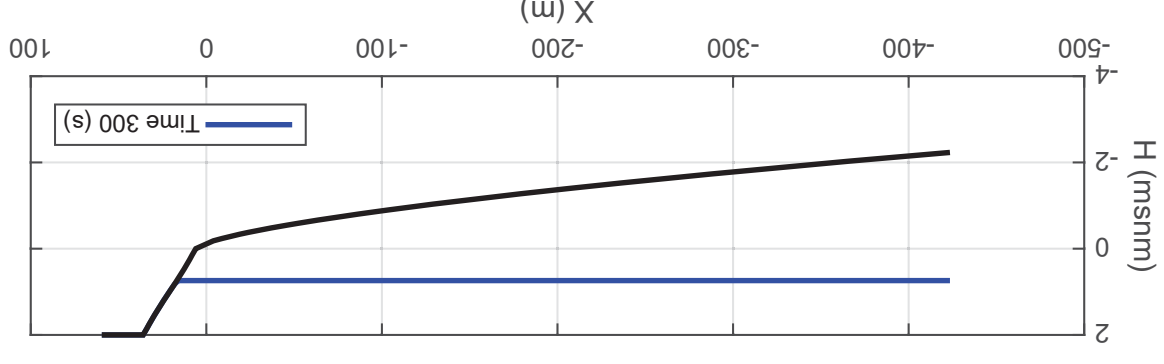
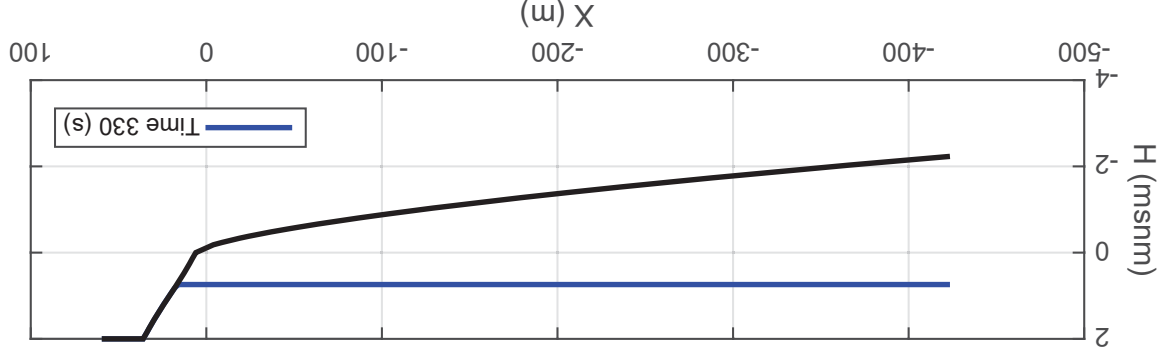
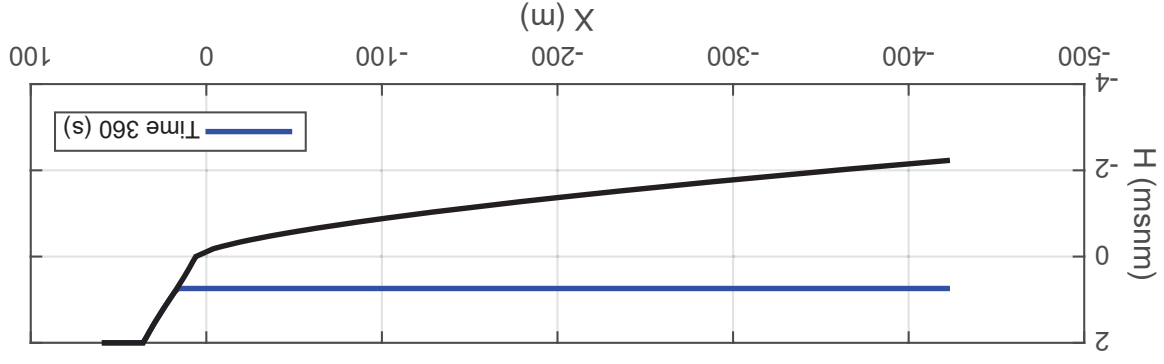
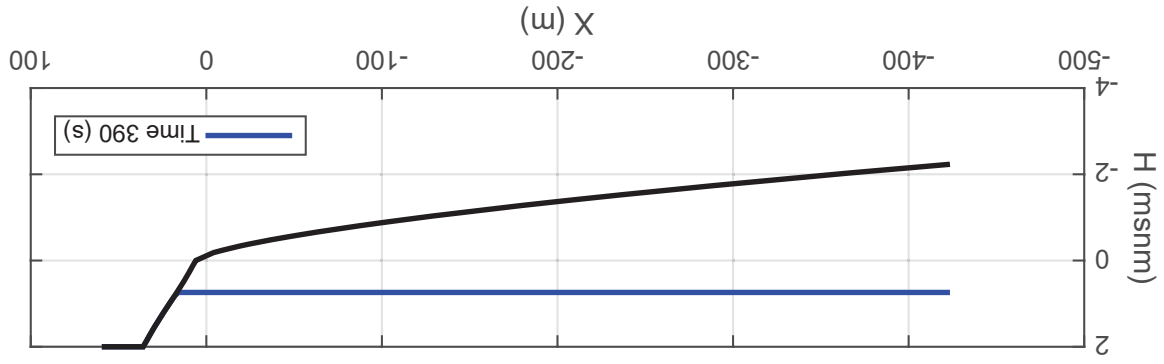
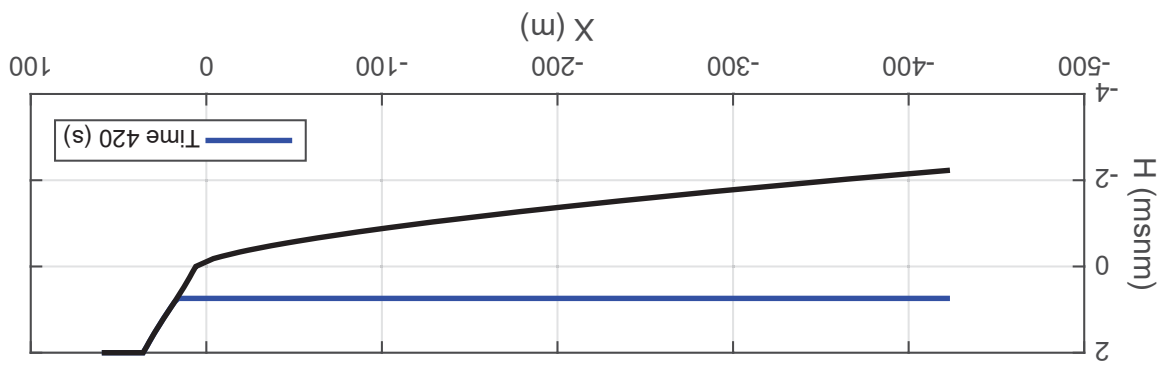


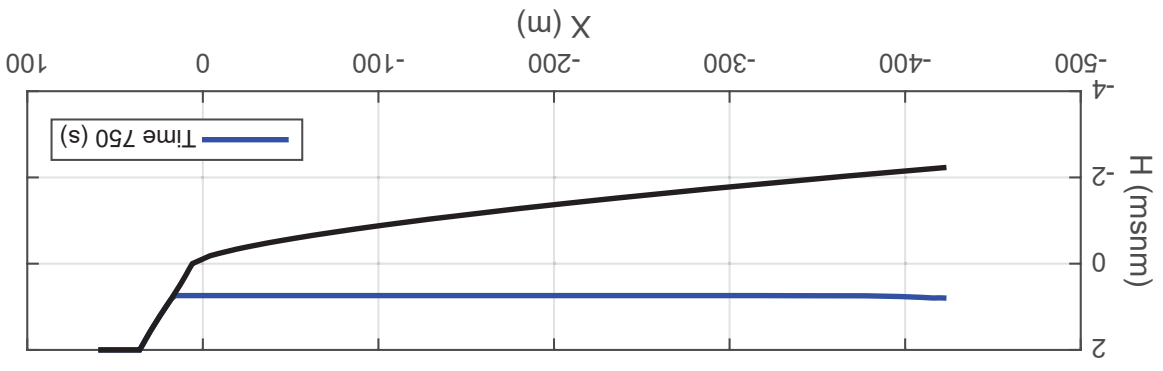
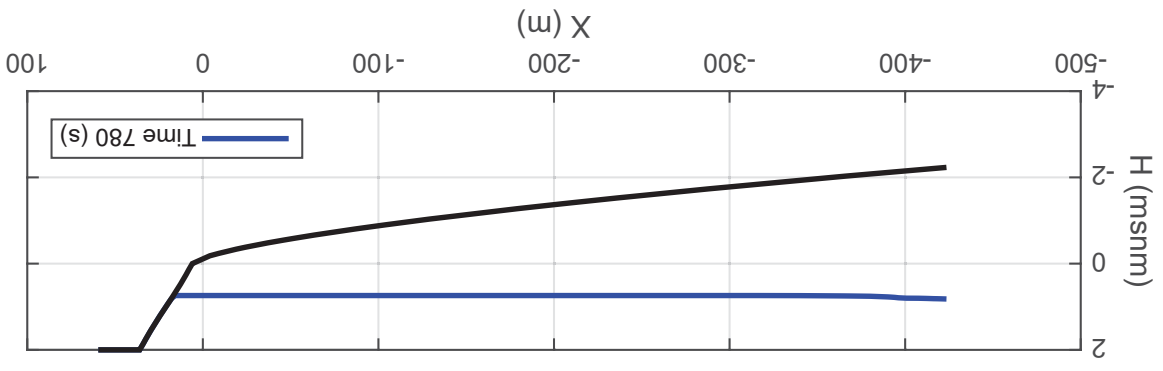
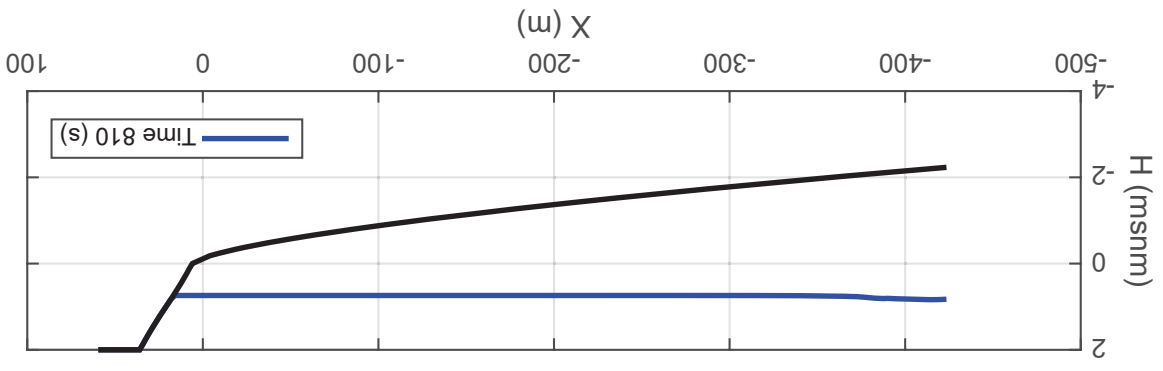
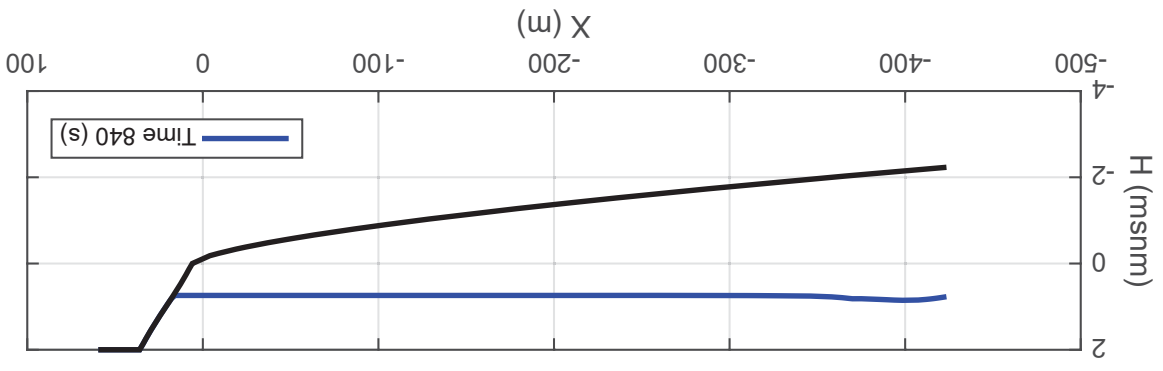
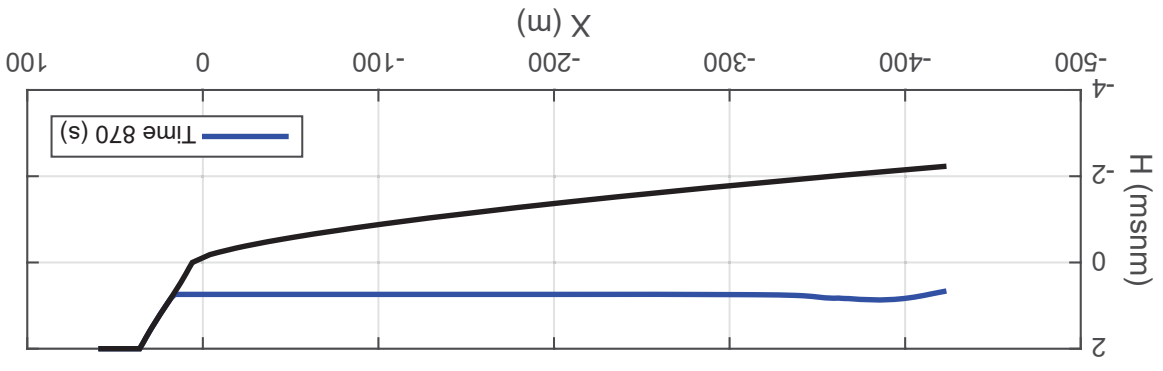
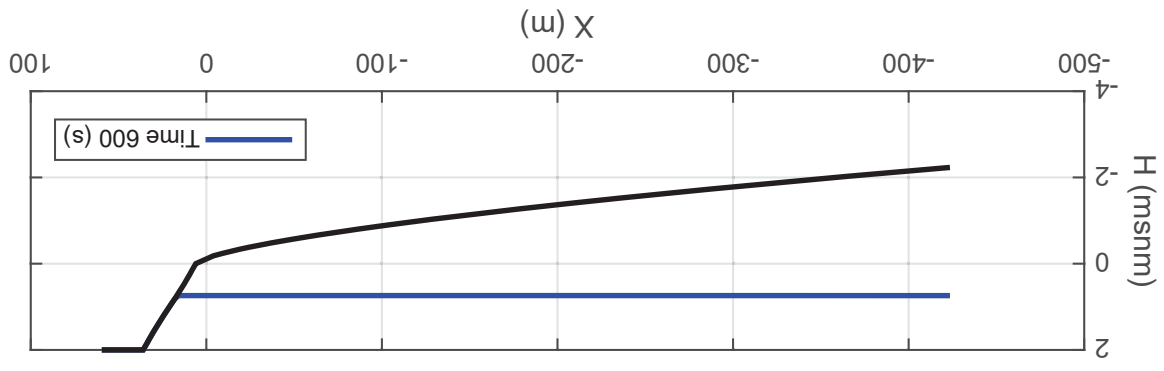
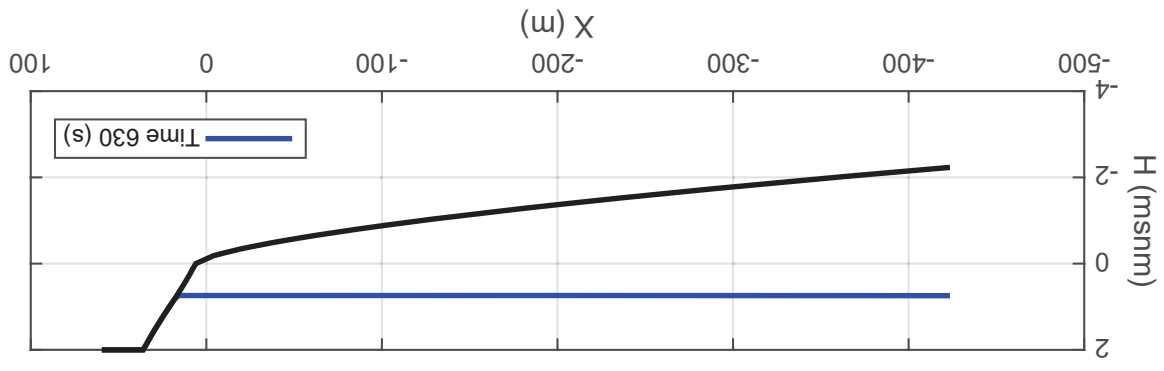
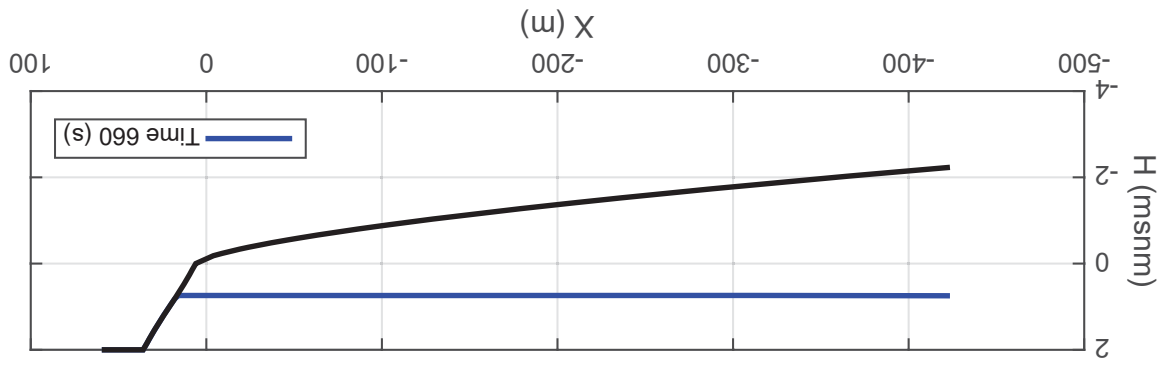
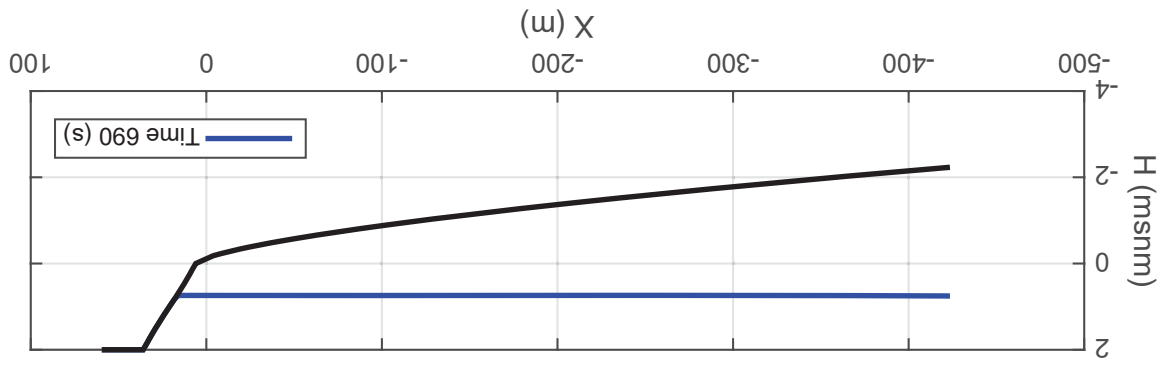
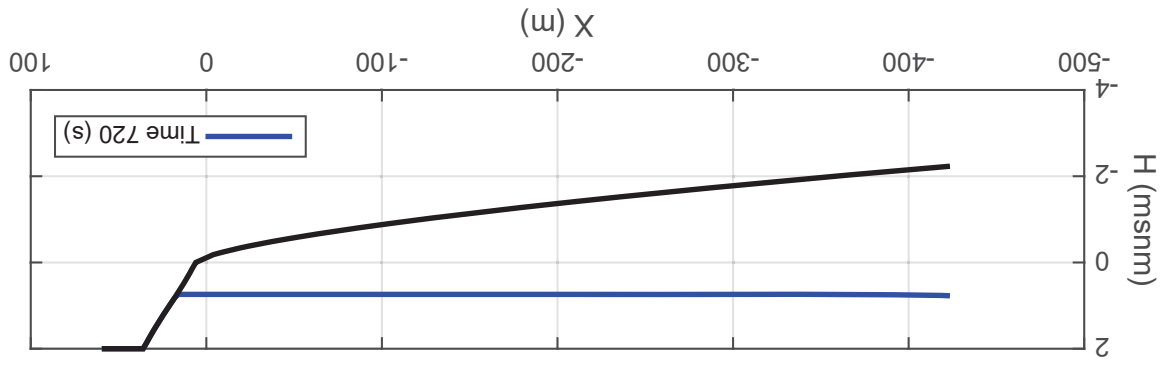


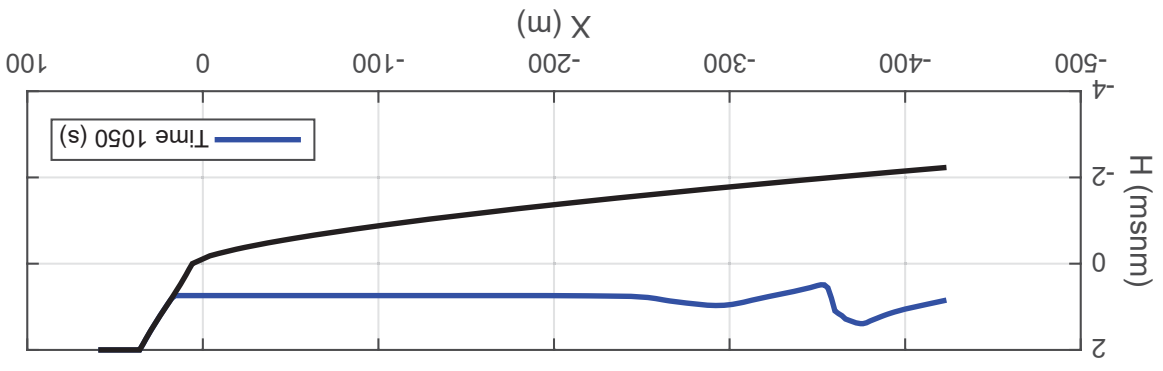
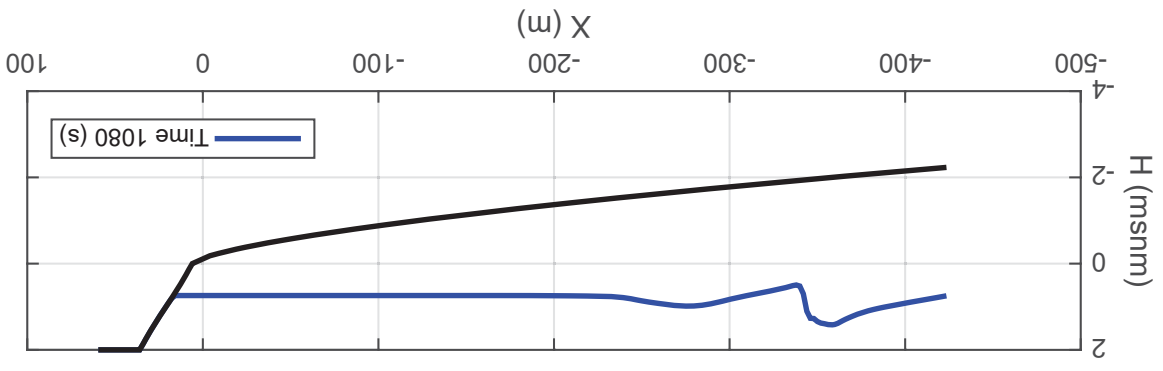
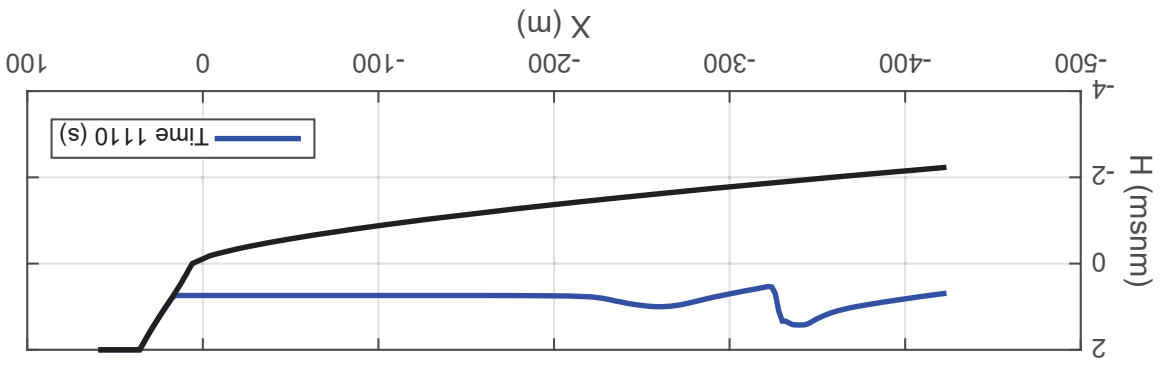
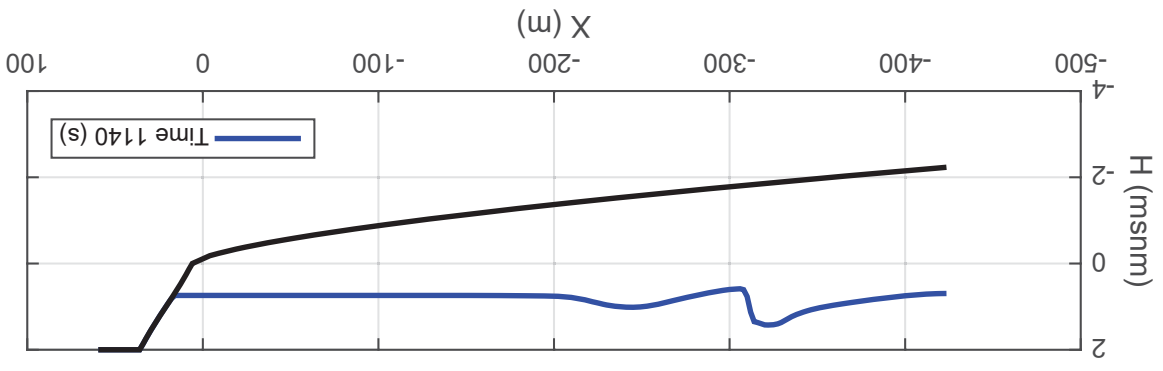
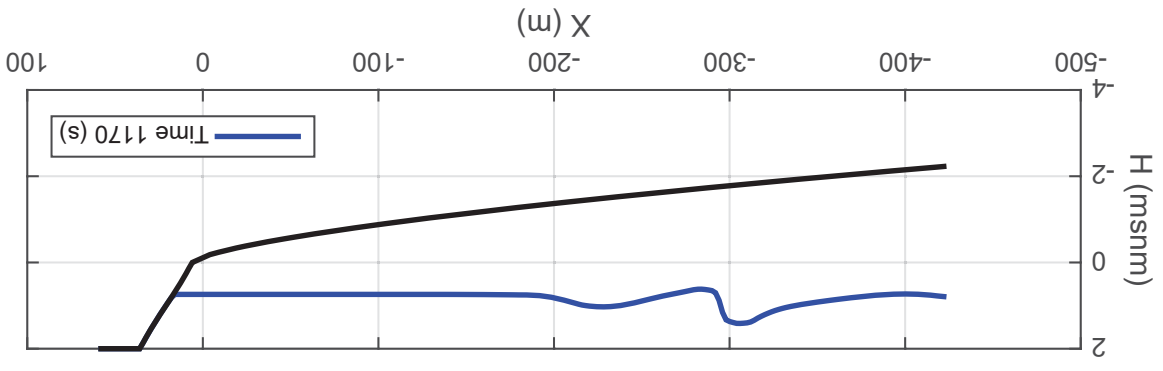
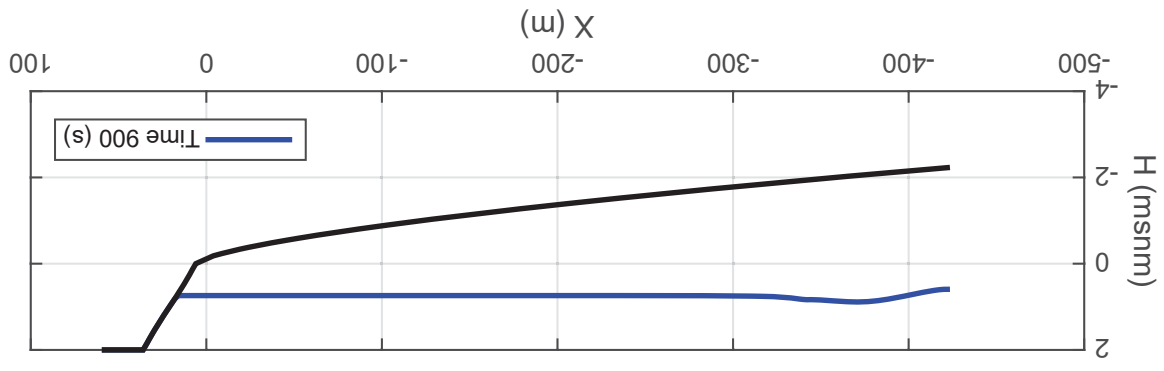
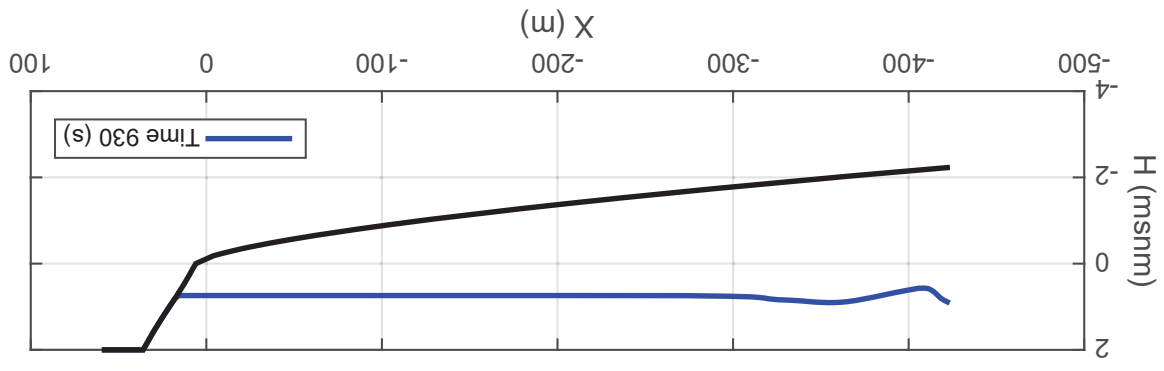
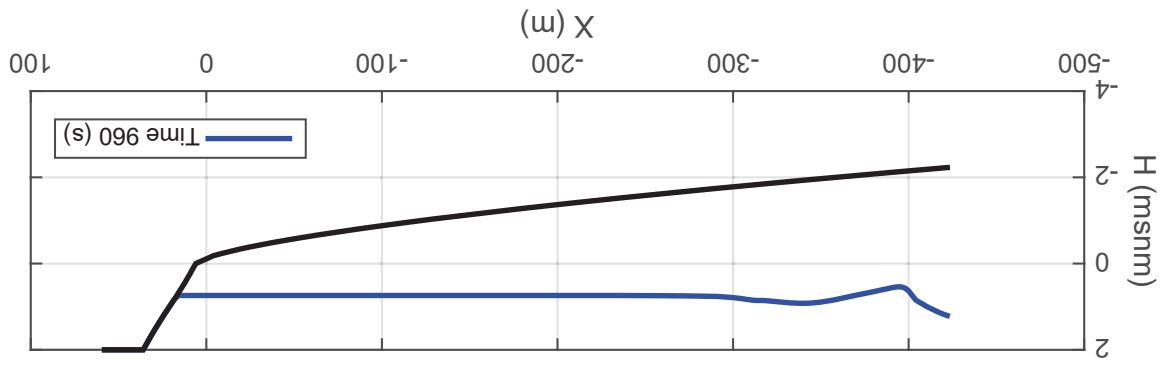
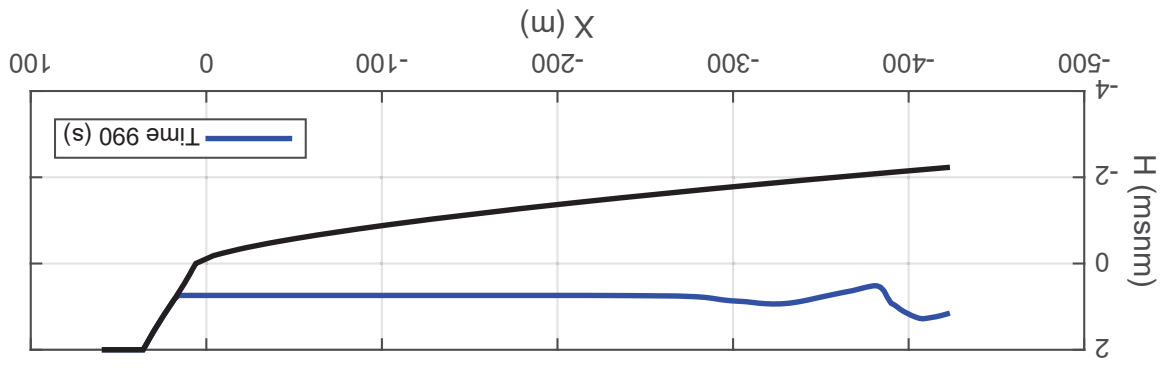
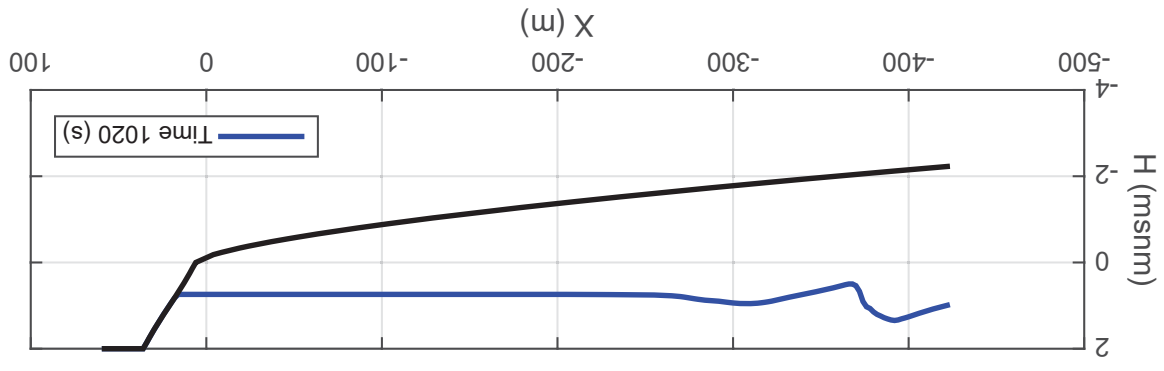
ANEJO 6. MODELO Estado actual perfiles de oleaje



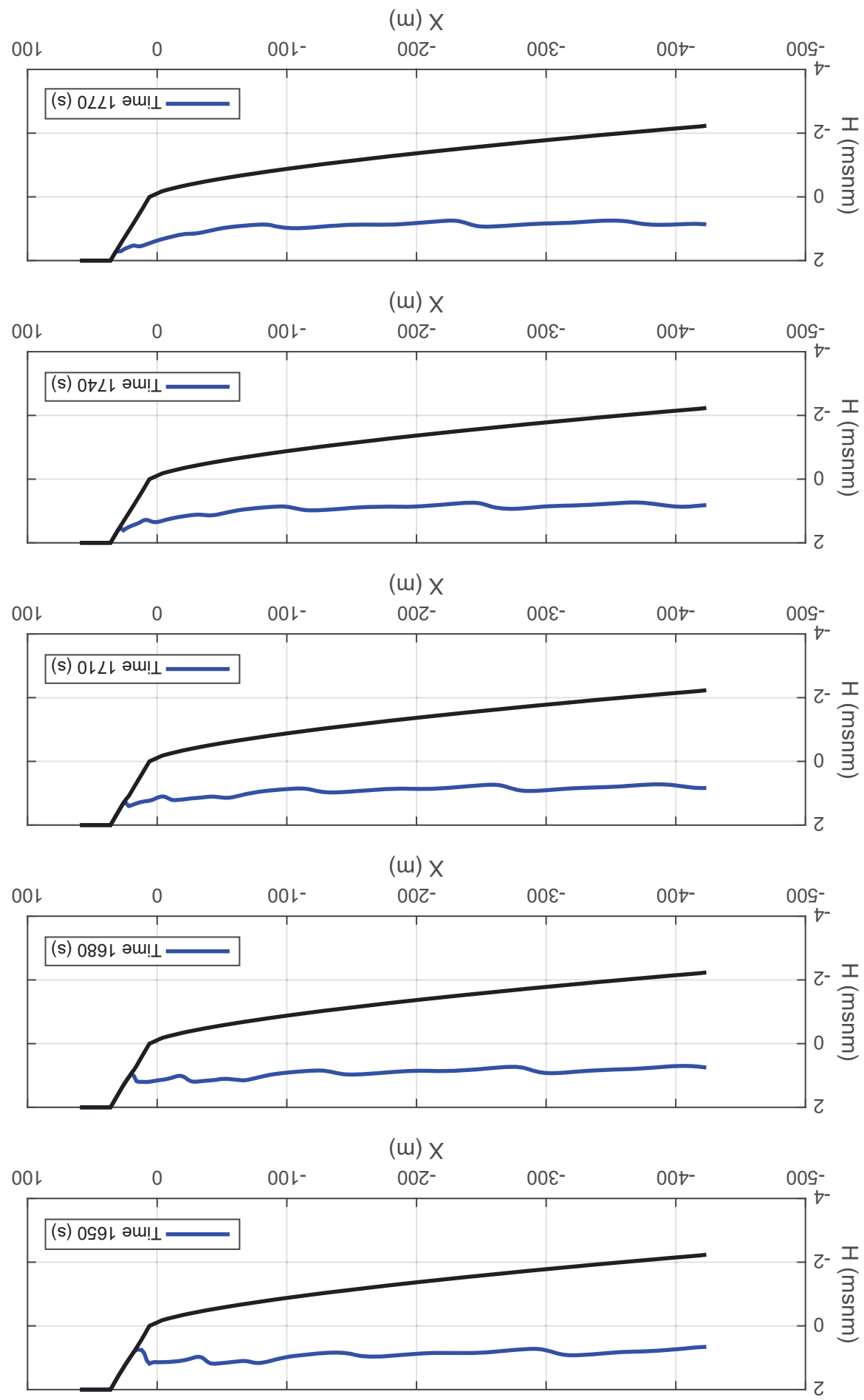
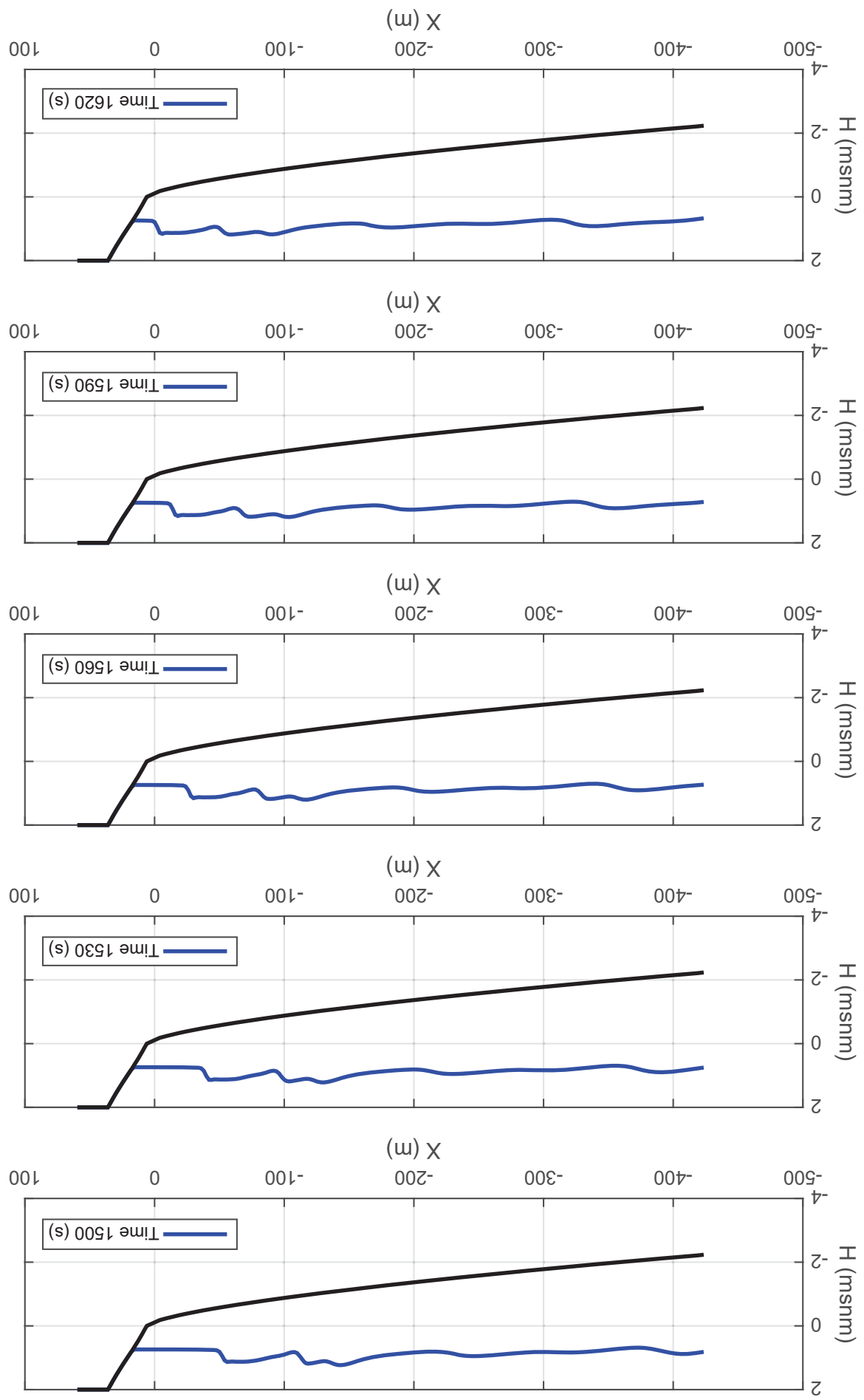


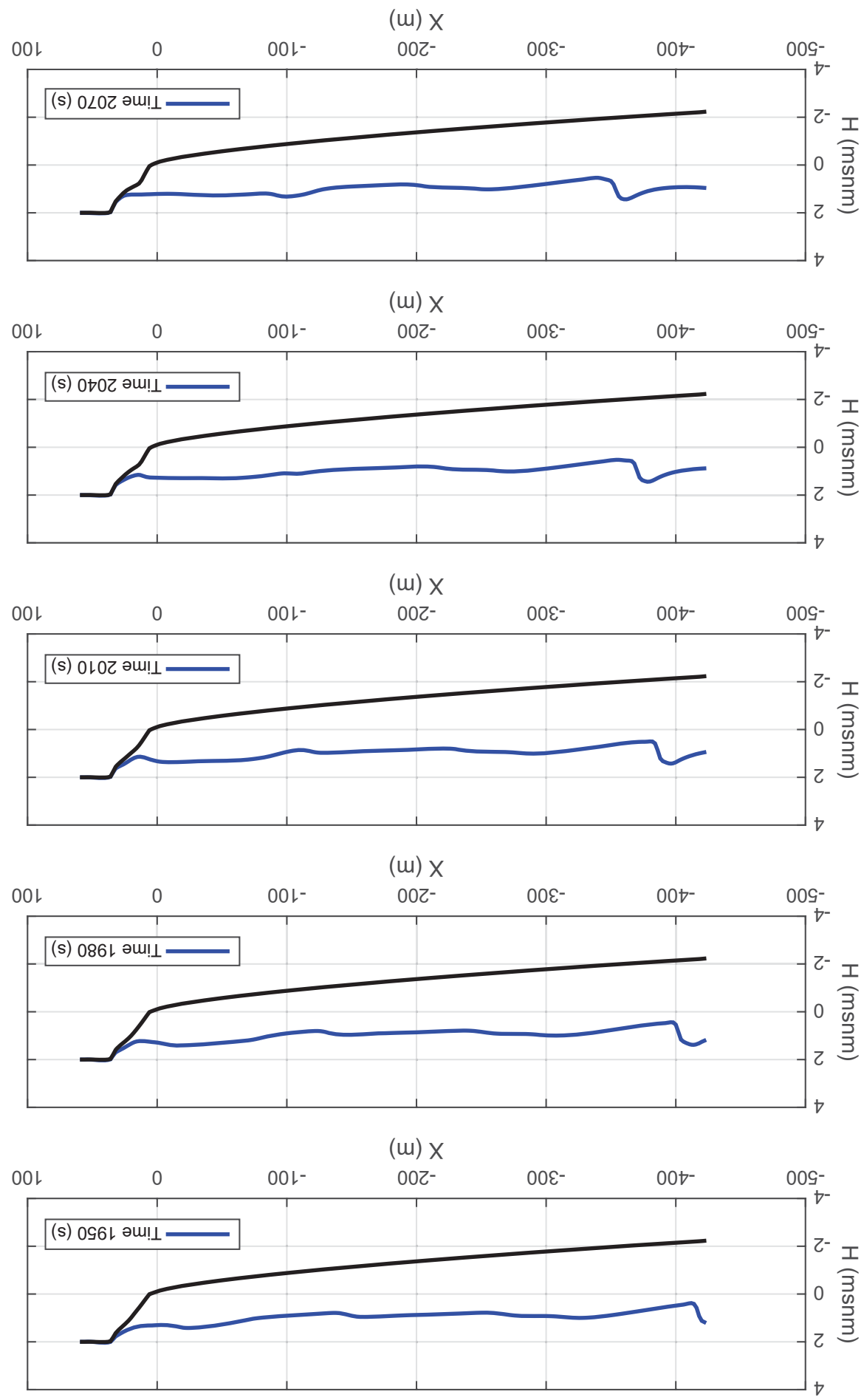
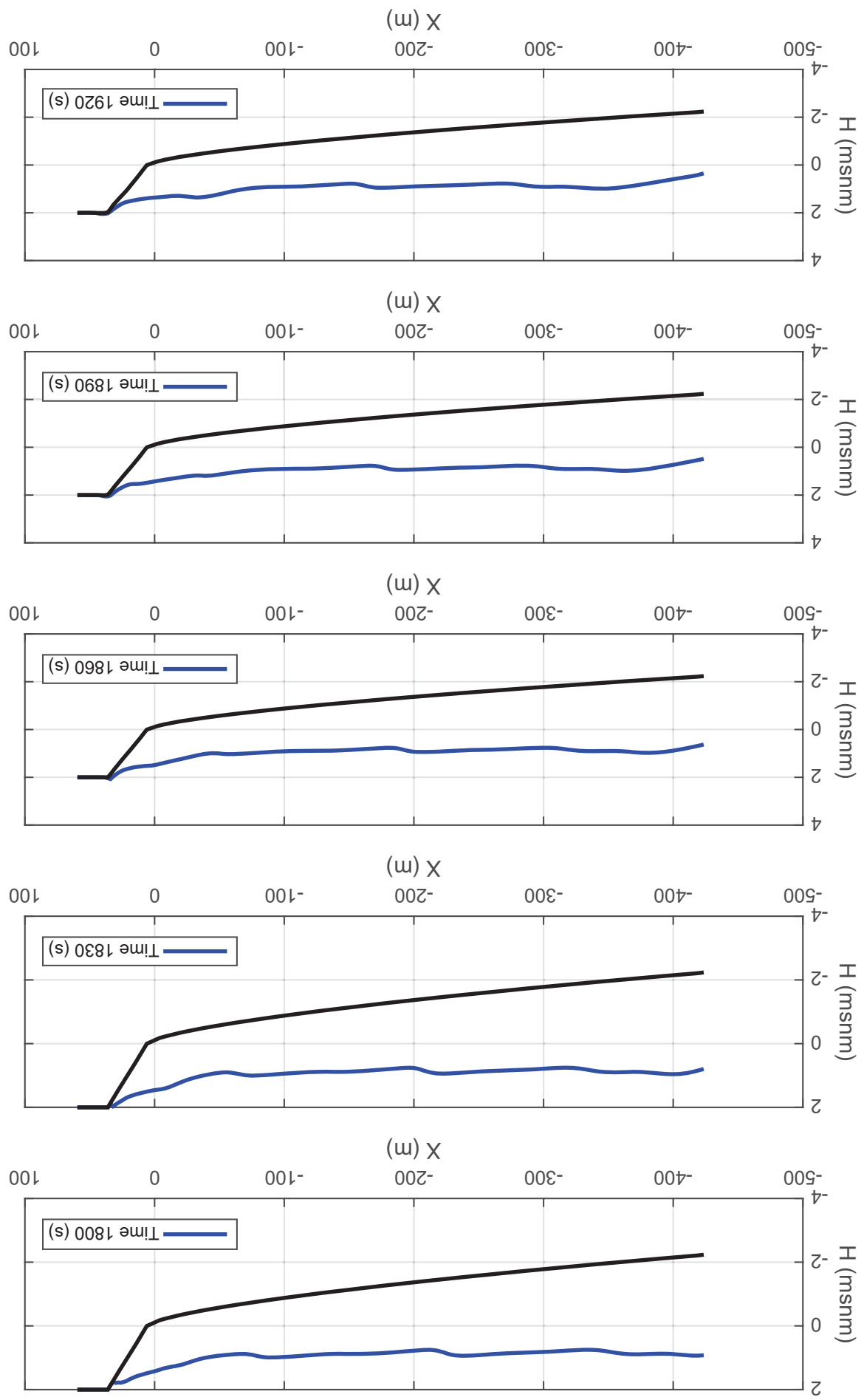


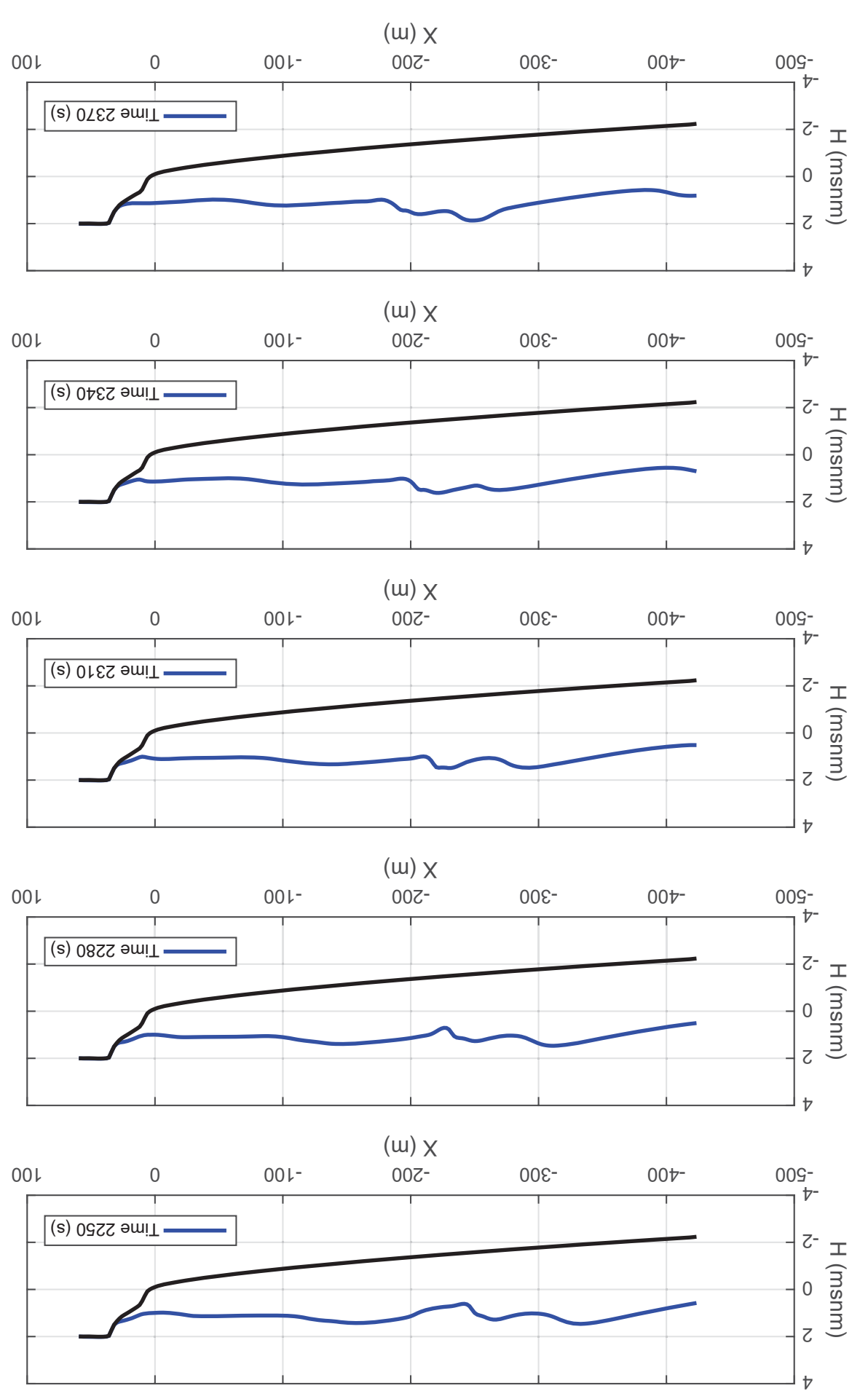
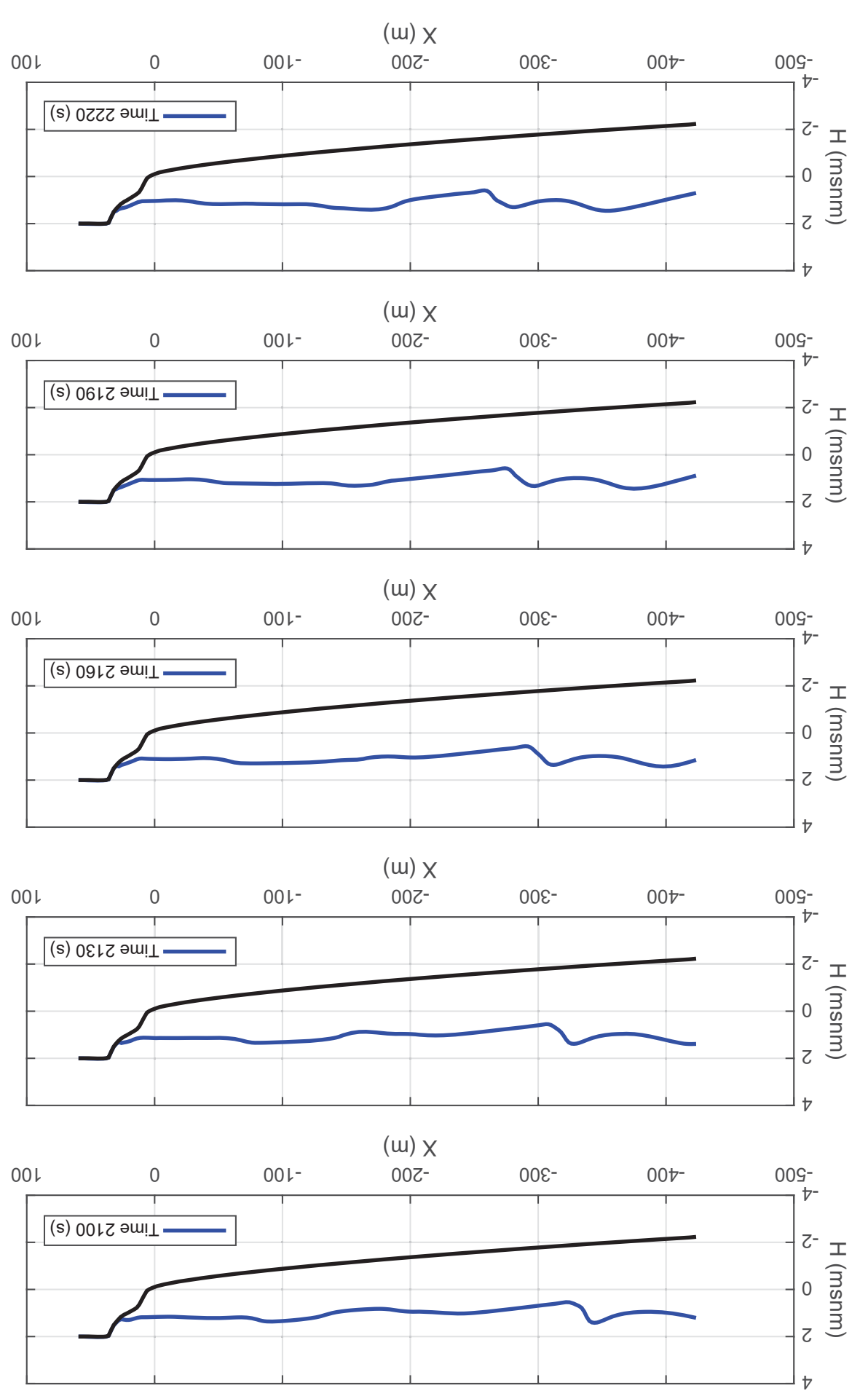


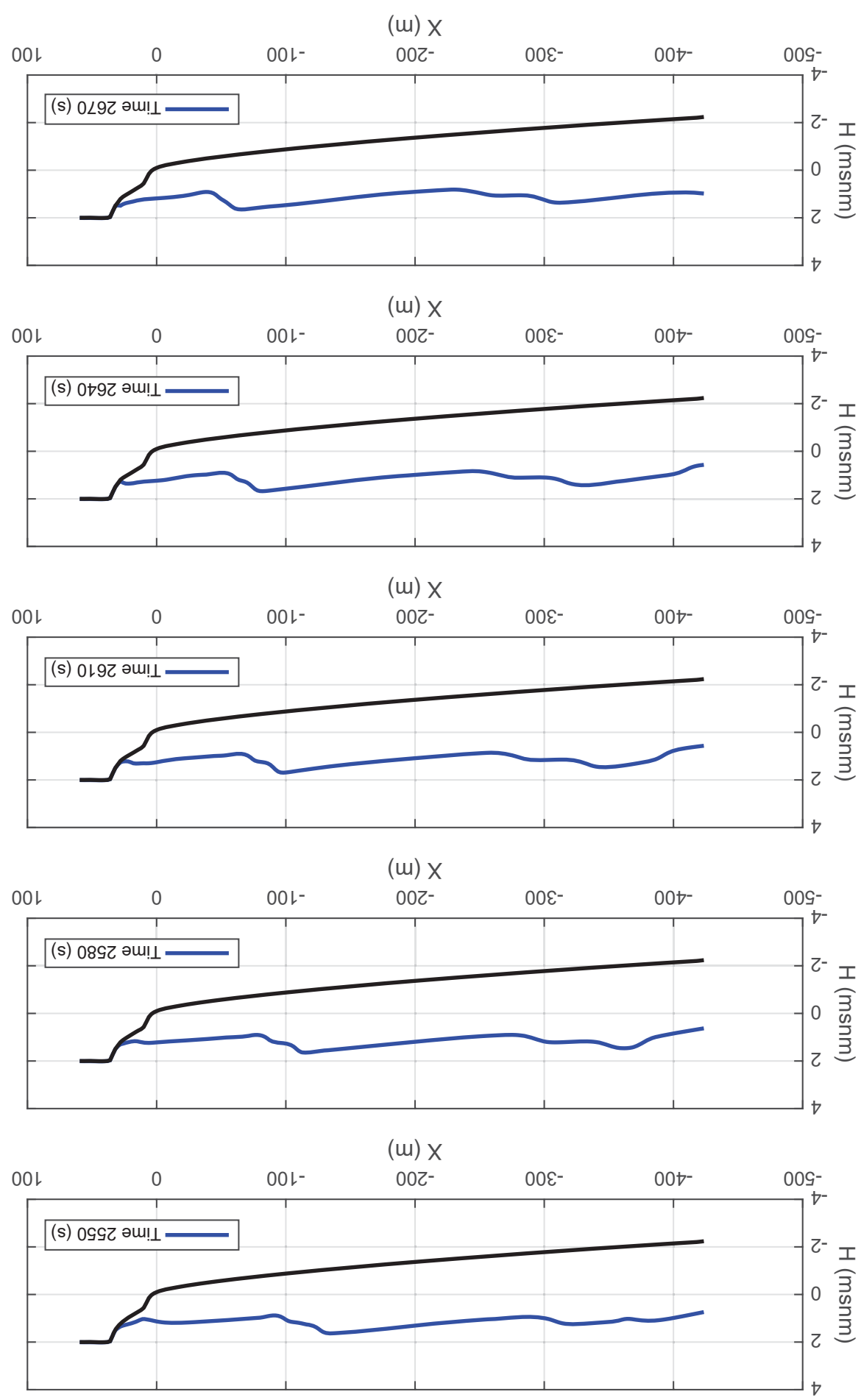
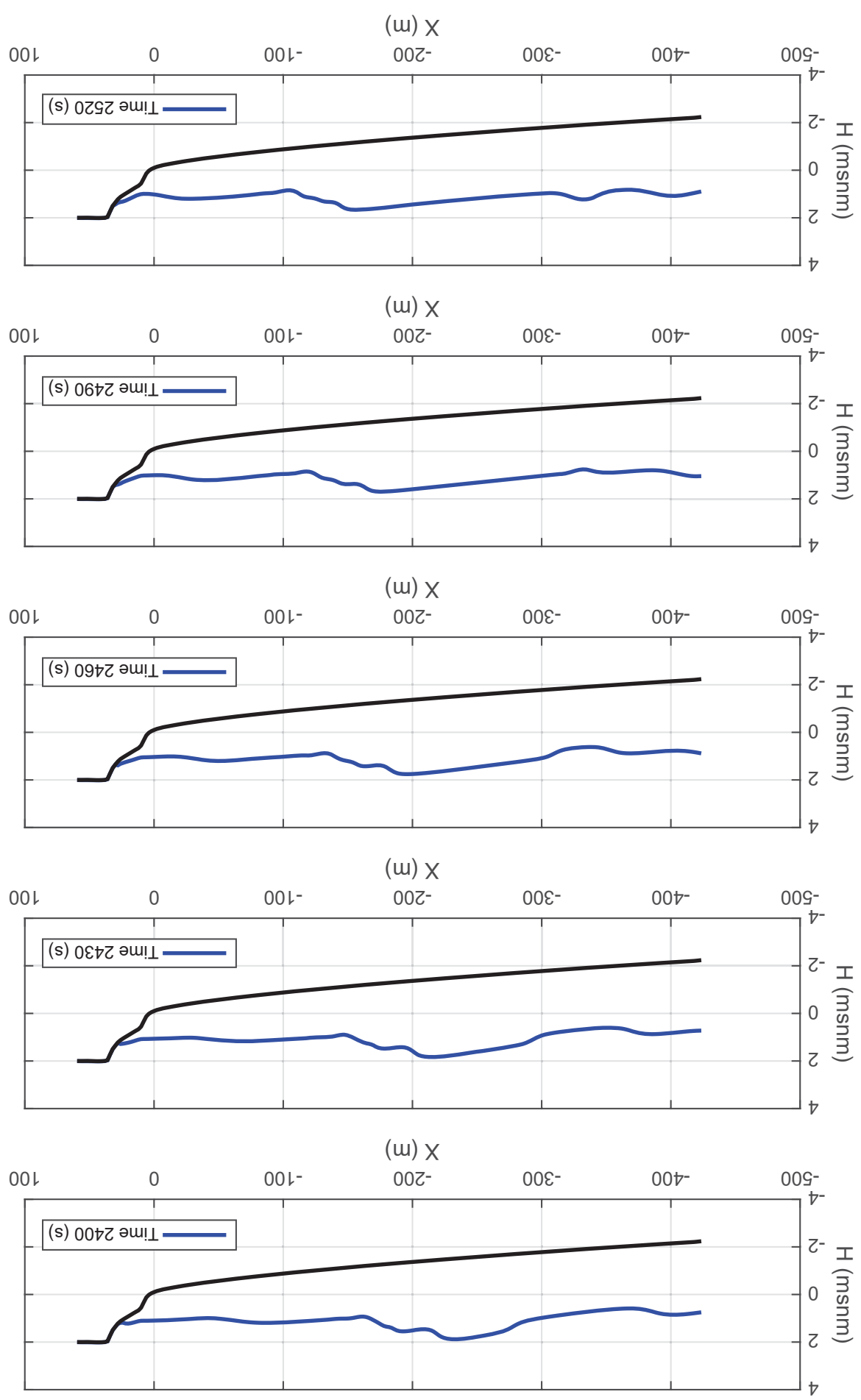


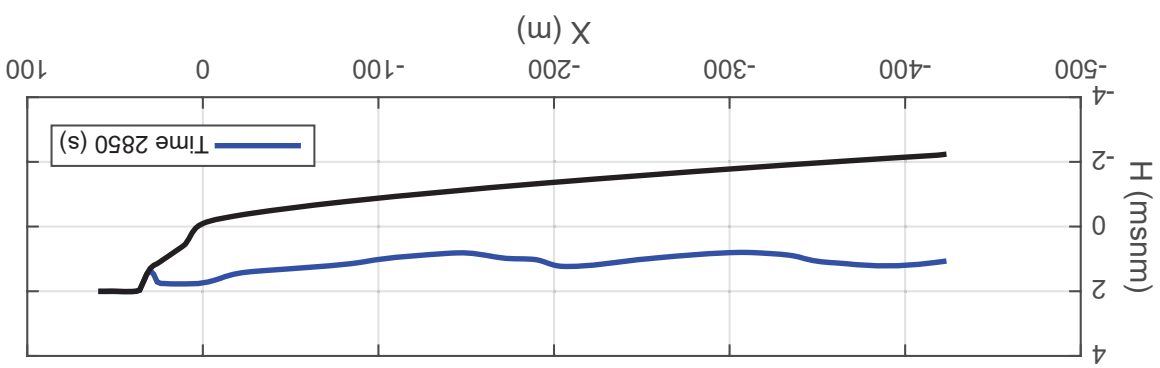
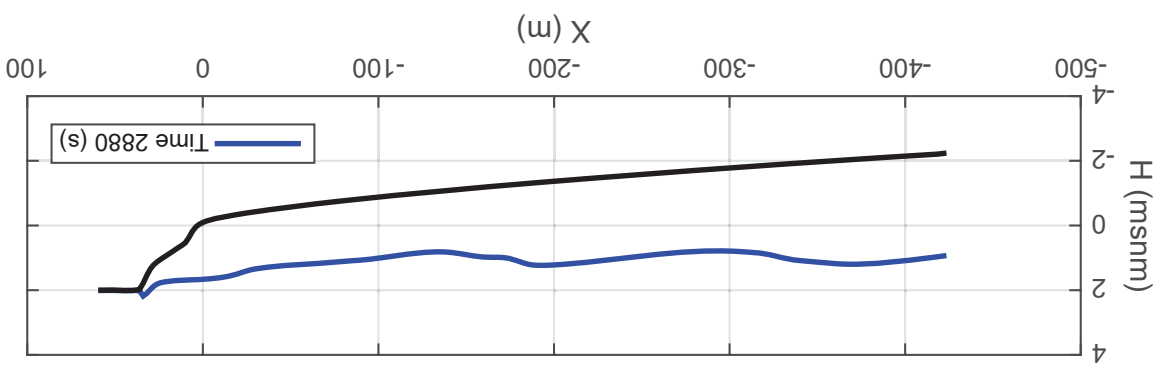
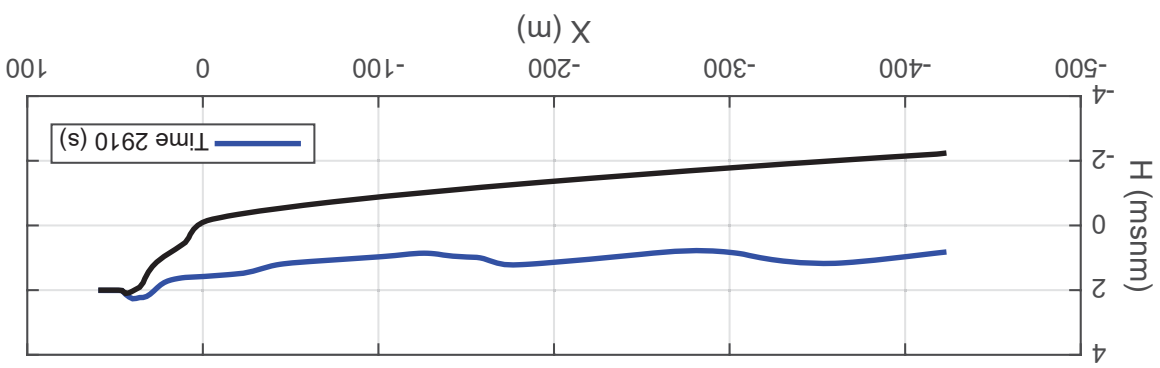
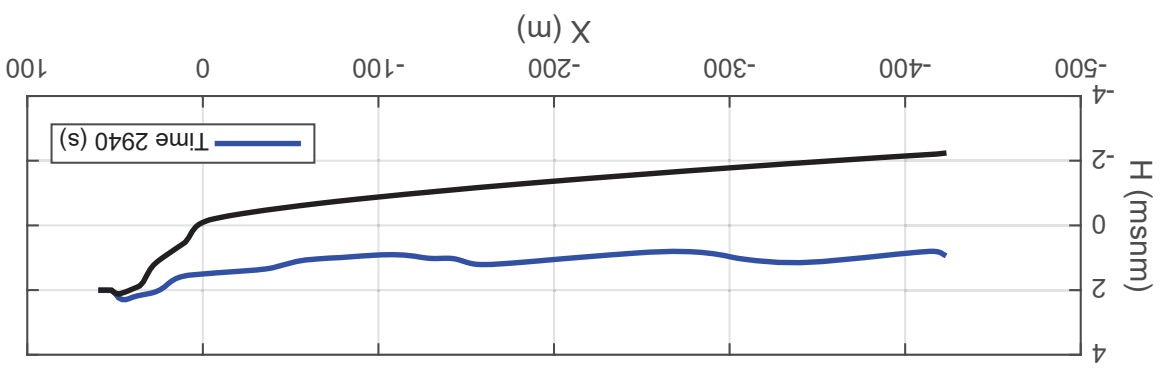
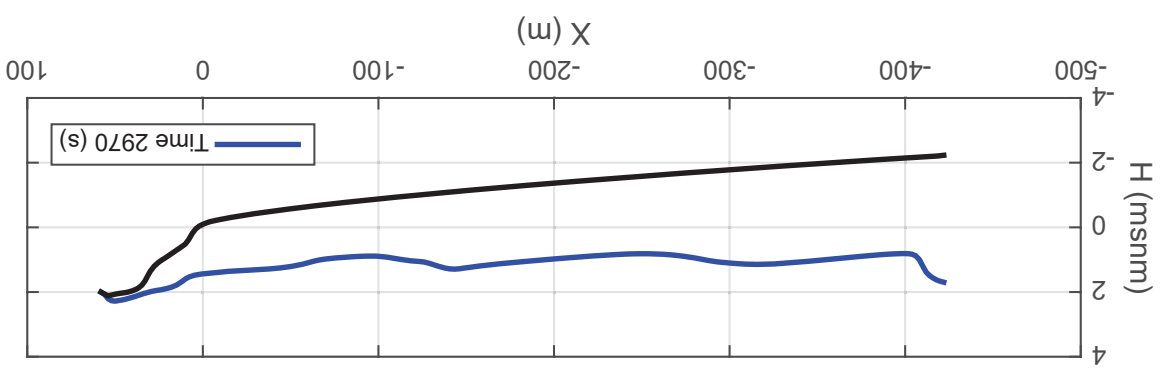
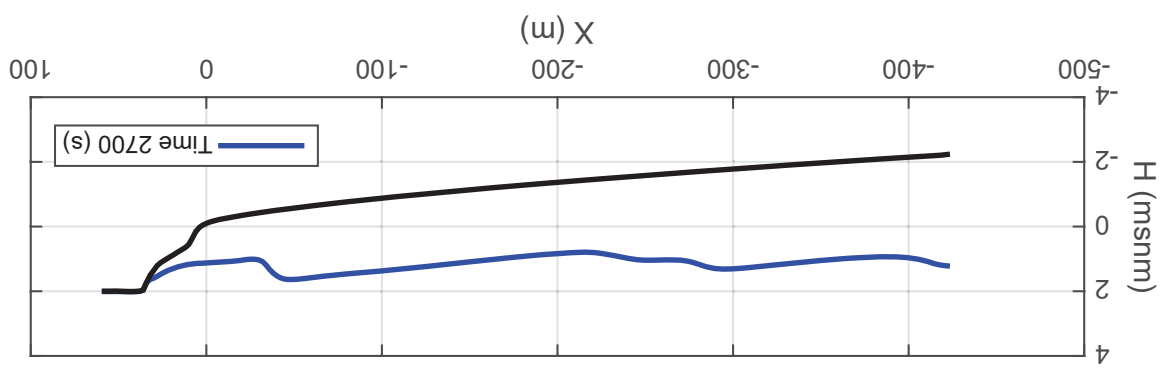
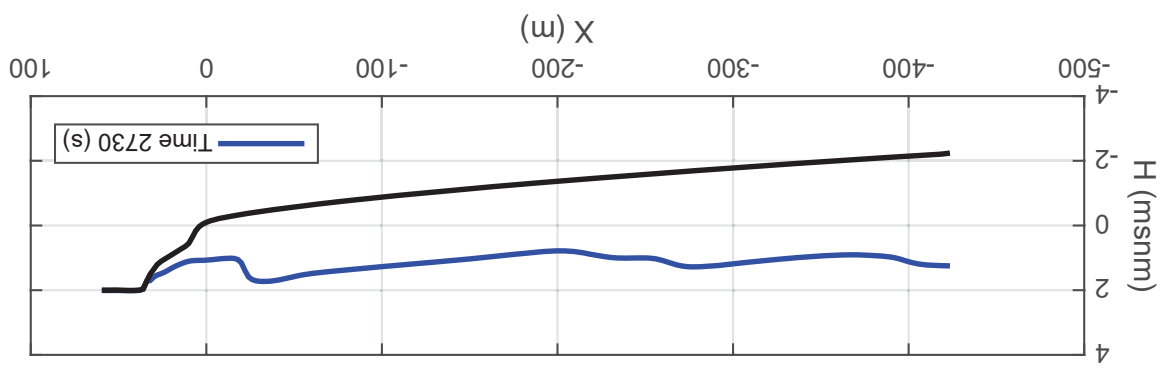
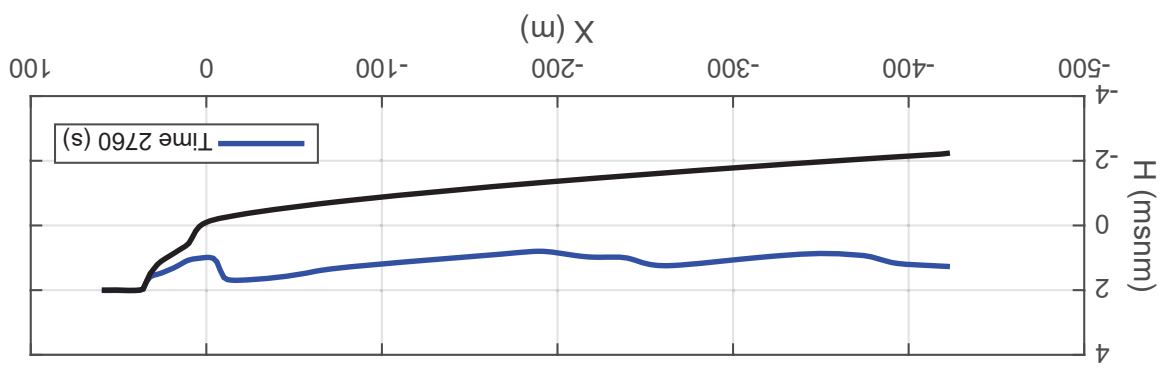
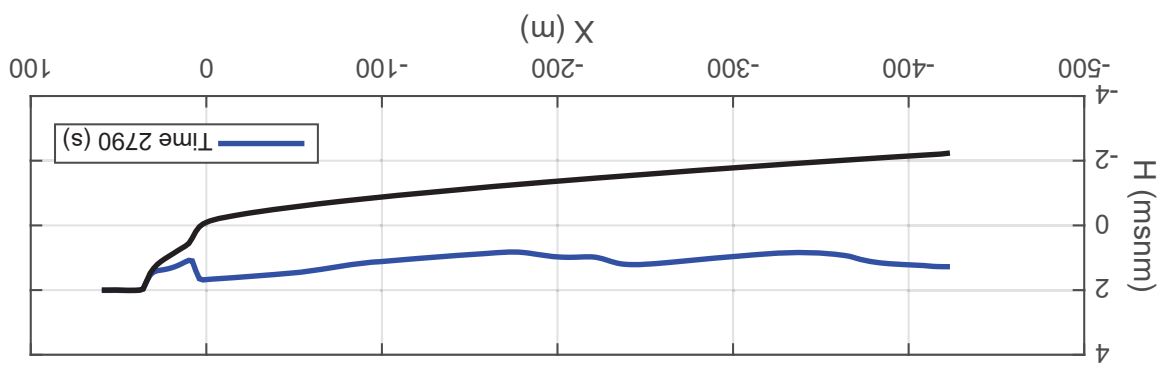
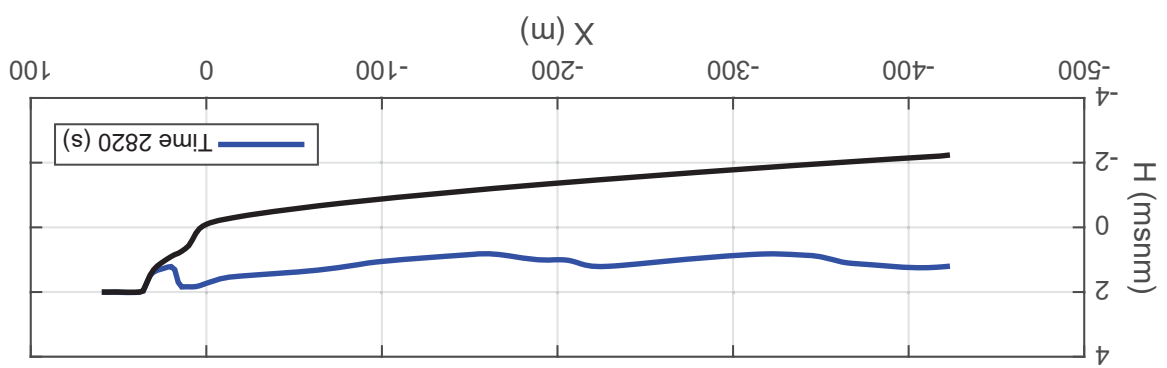


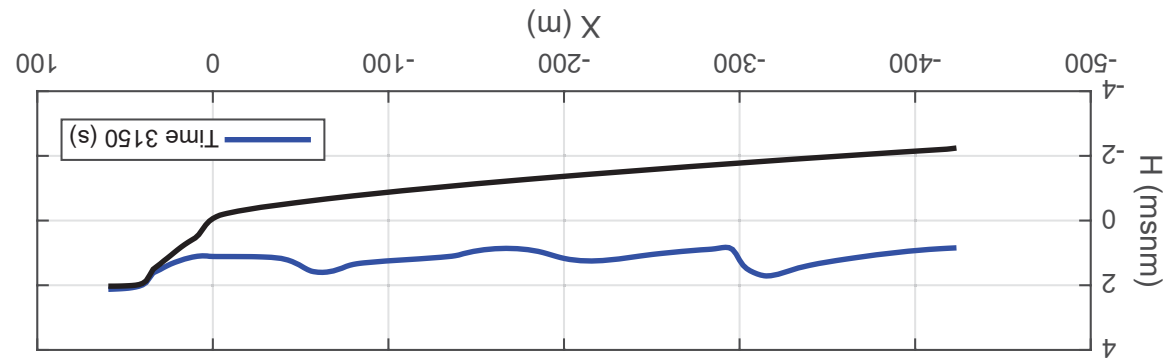
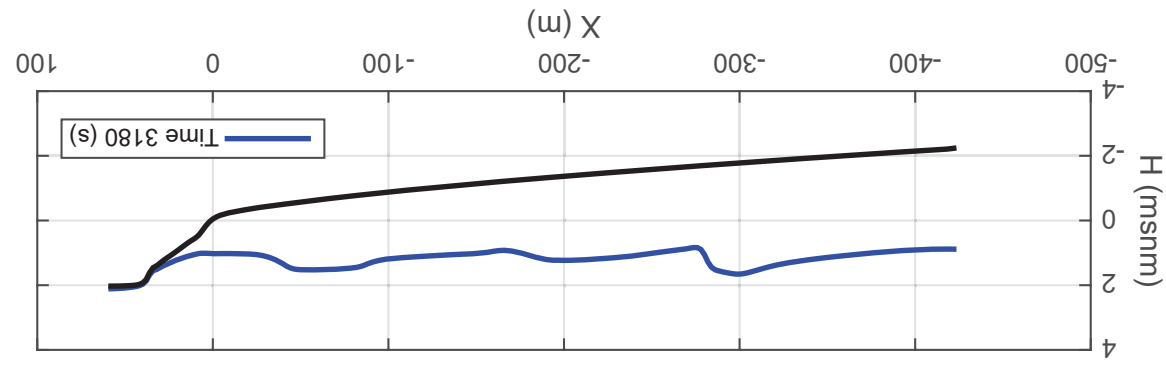
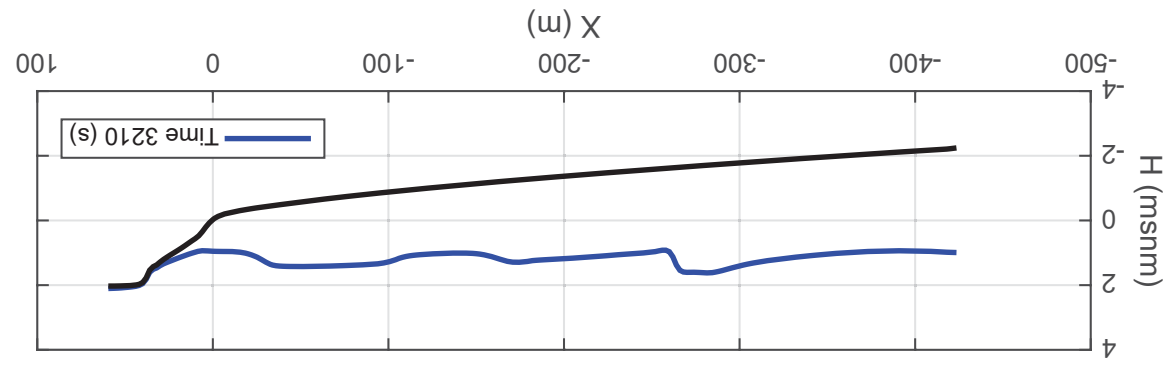
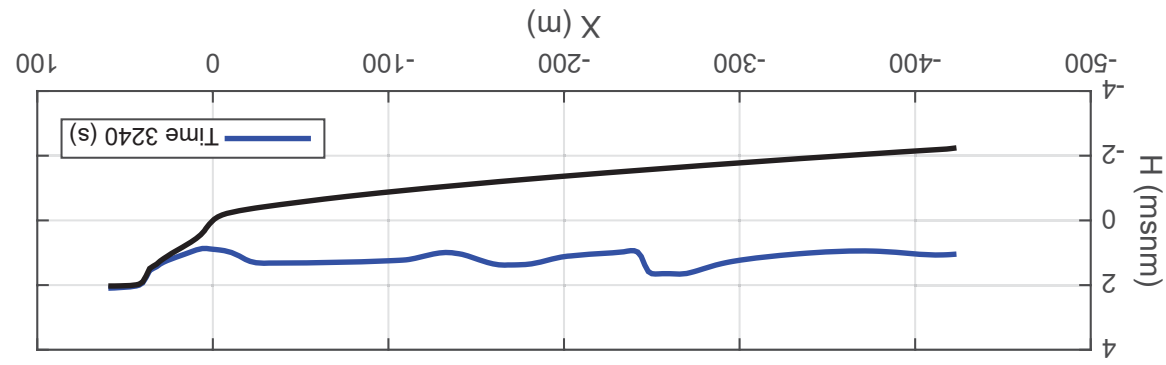
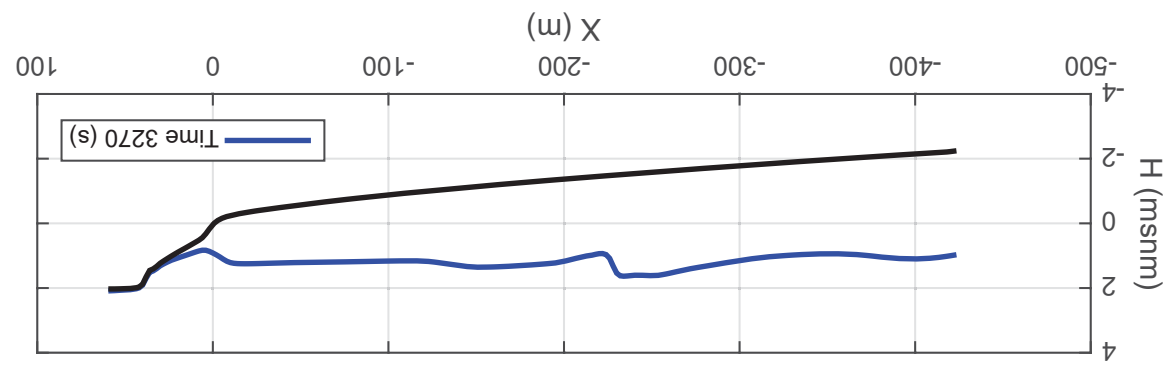
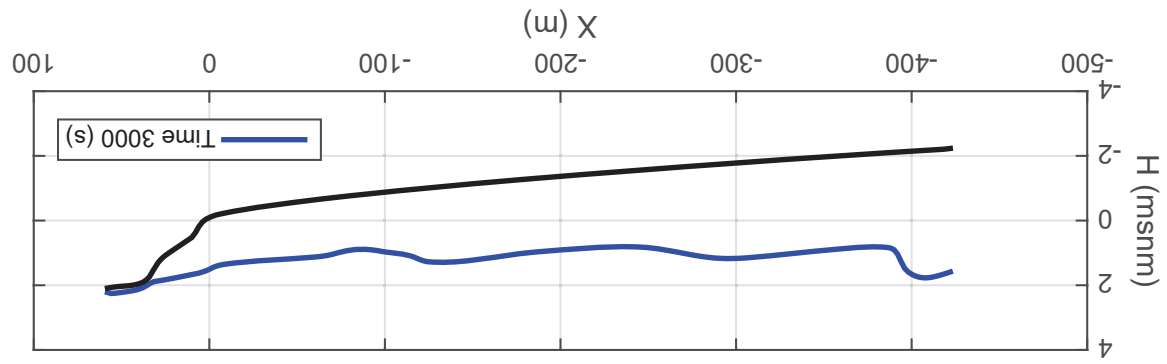
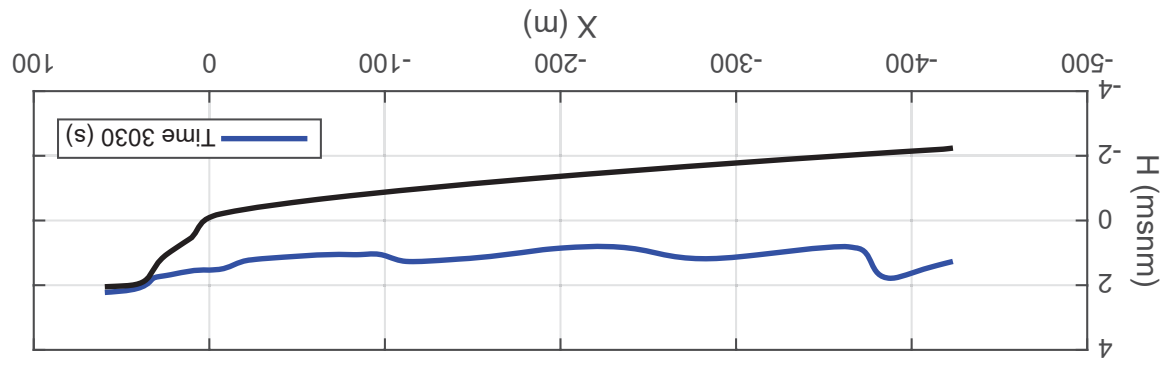
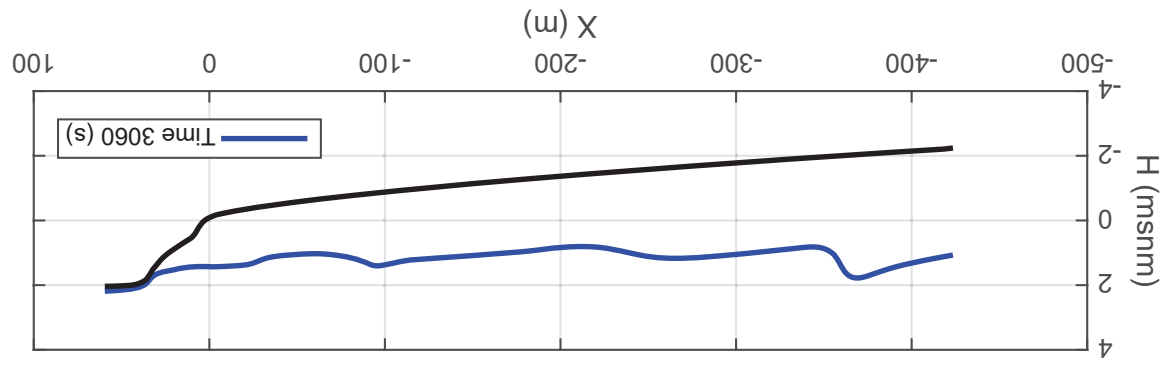
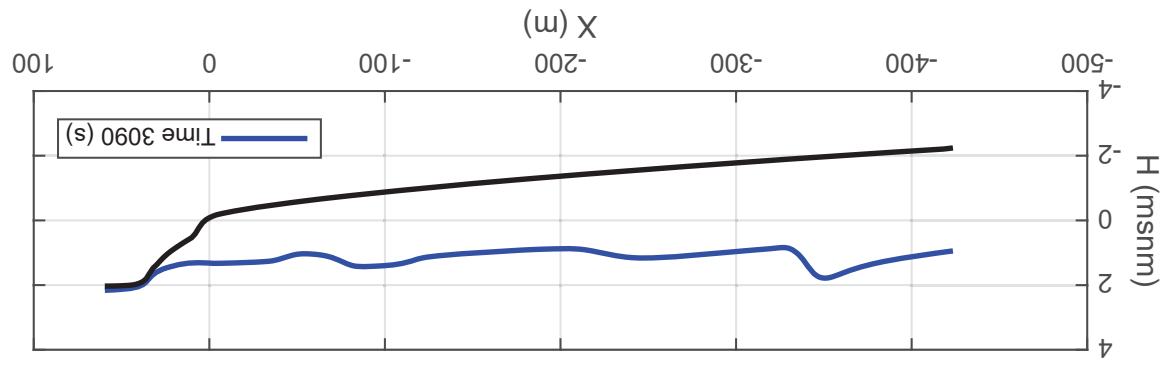
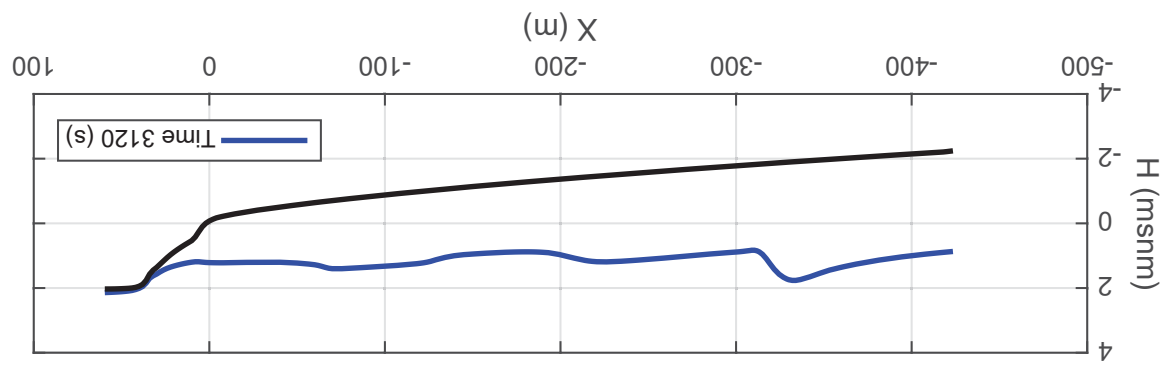


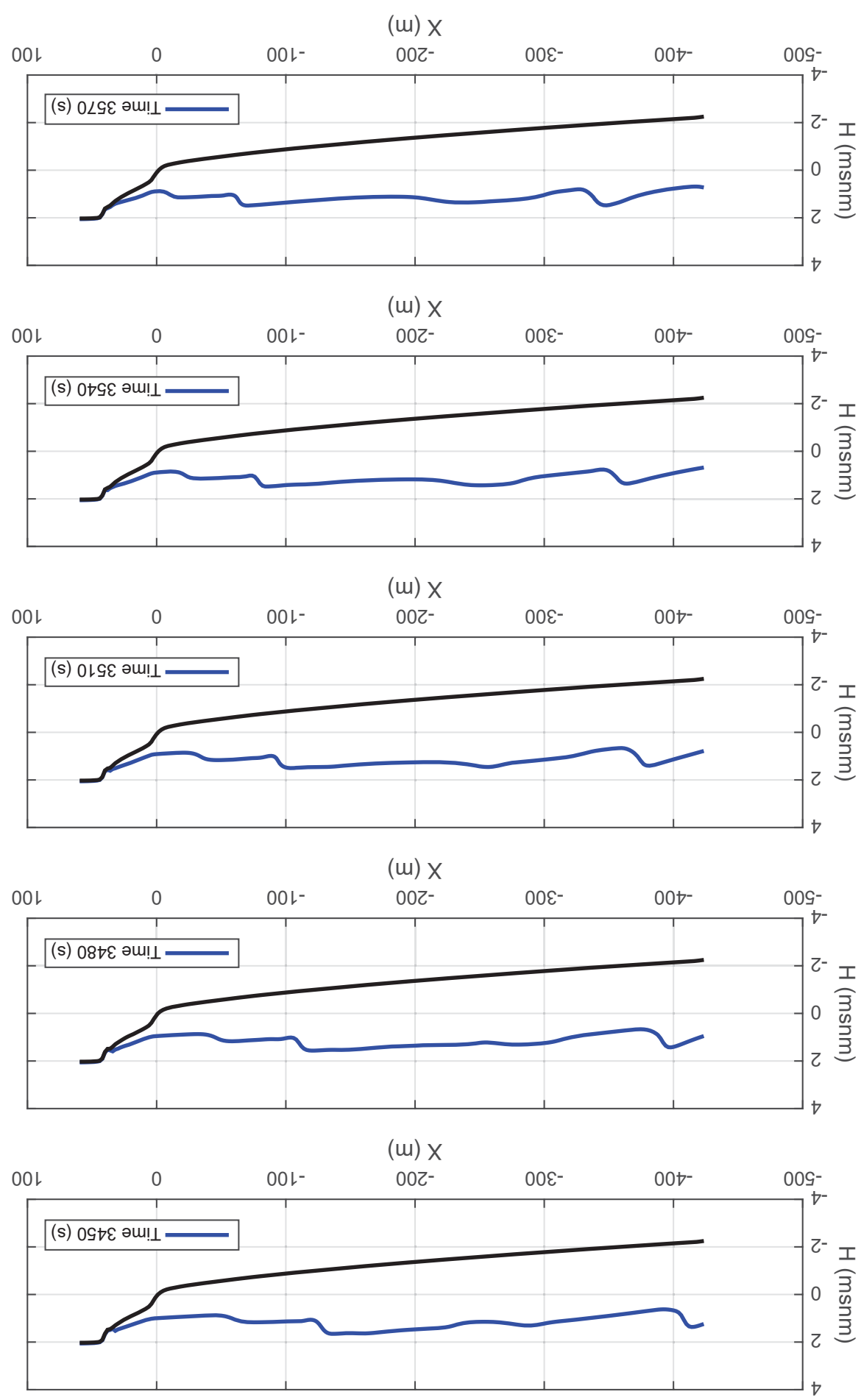
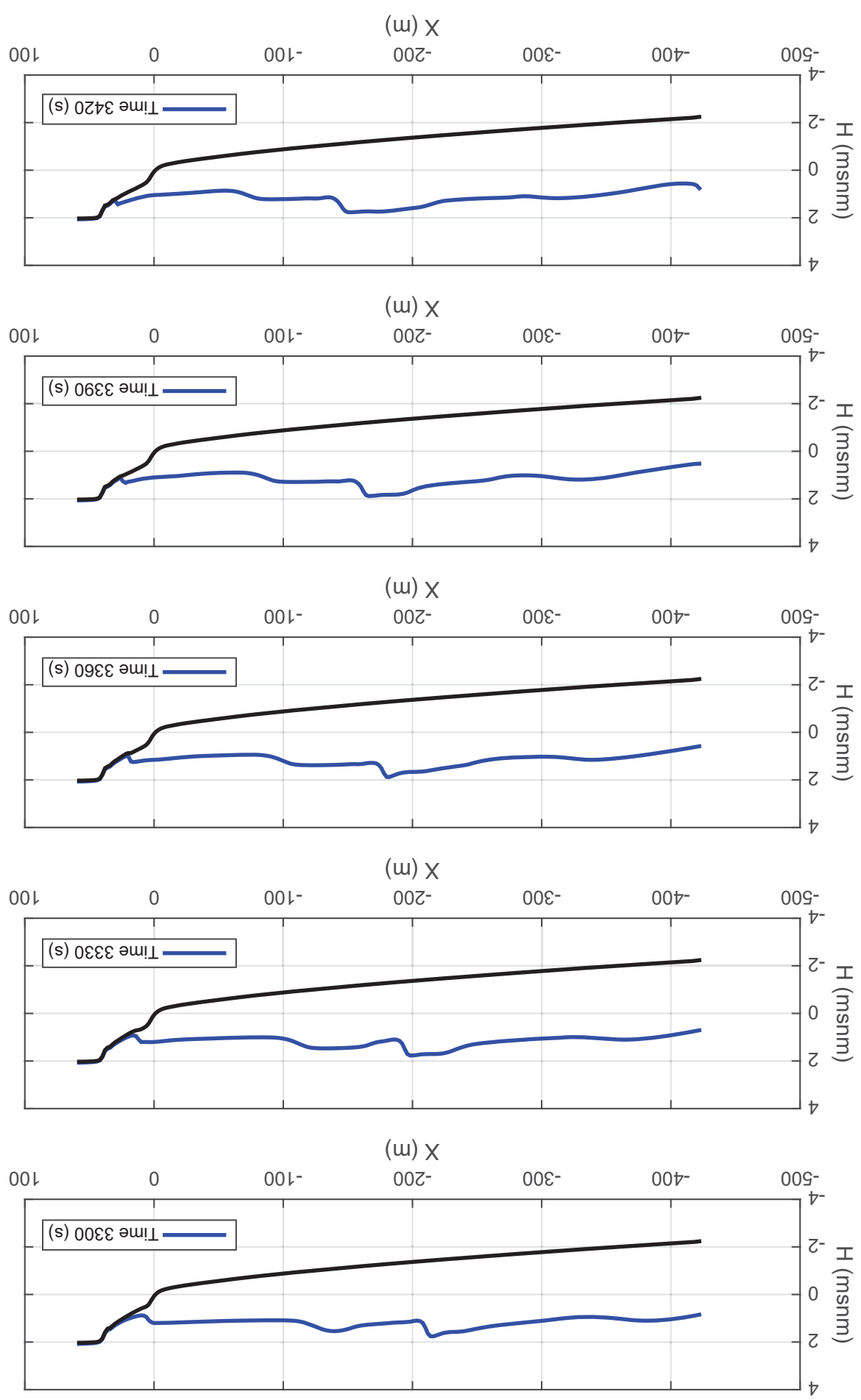


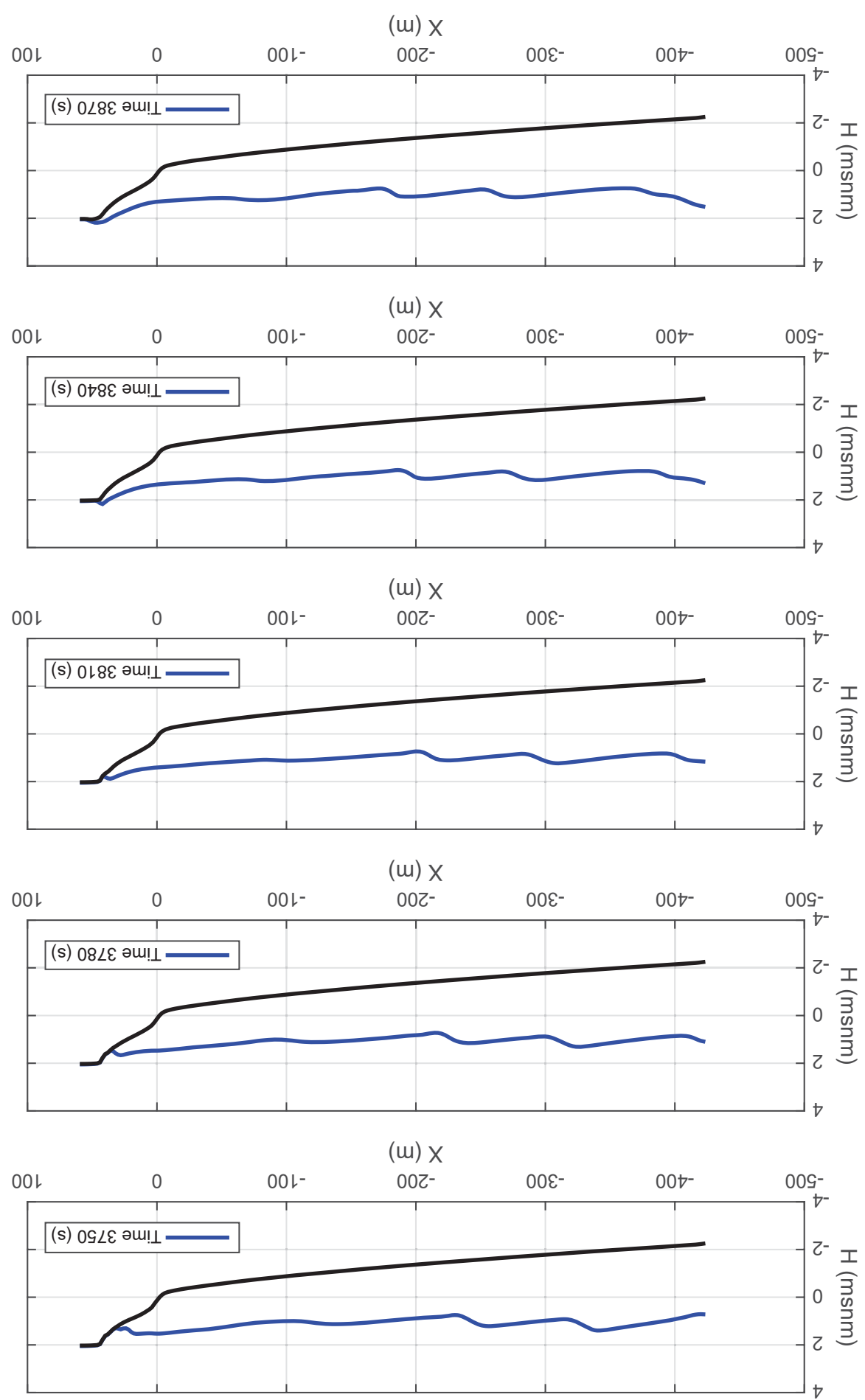
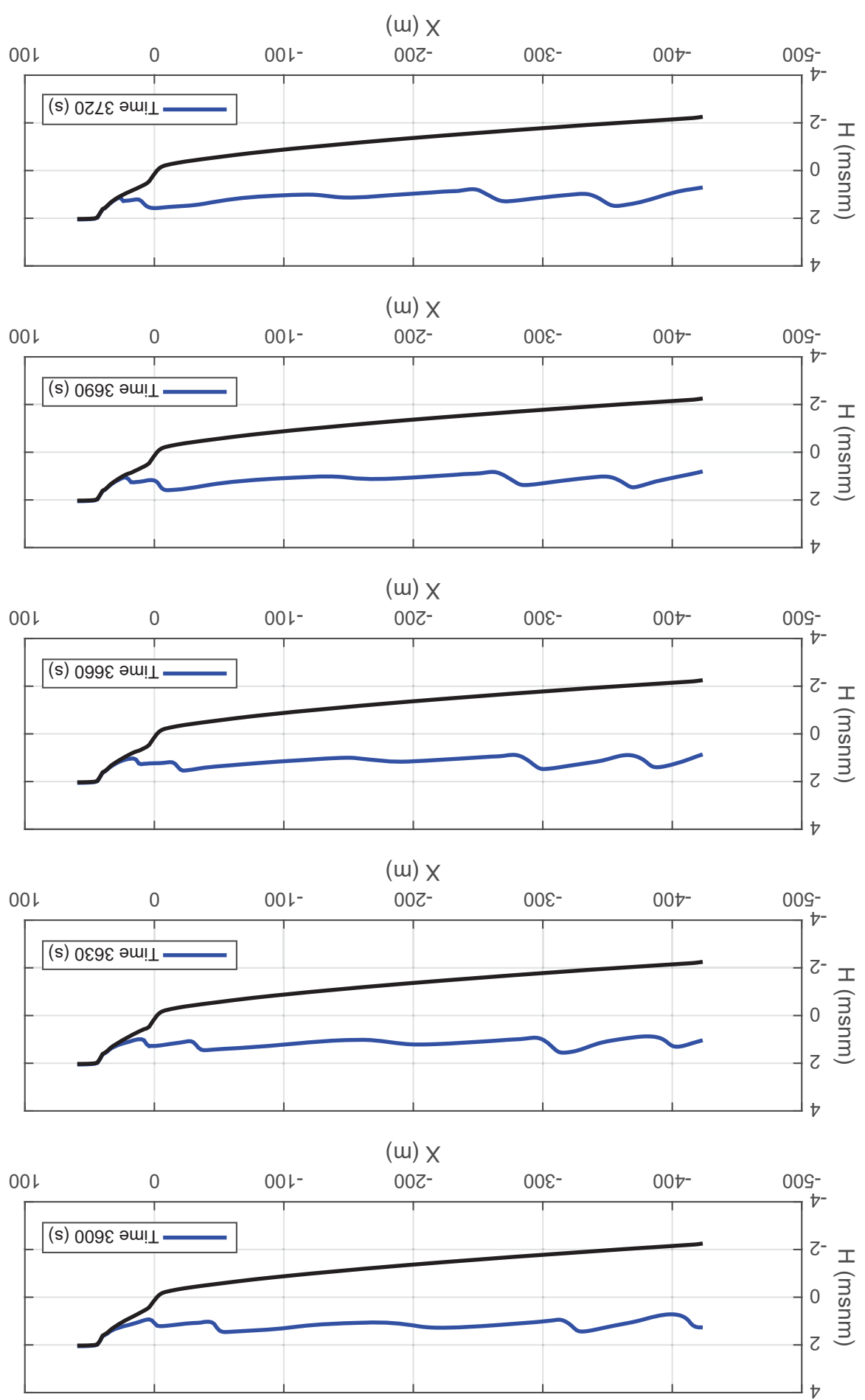


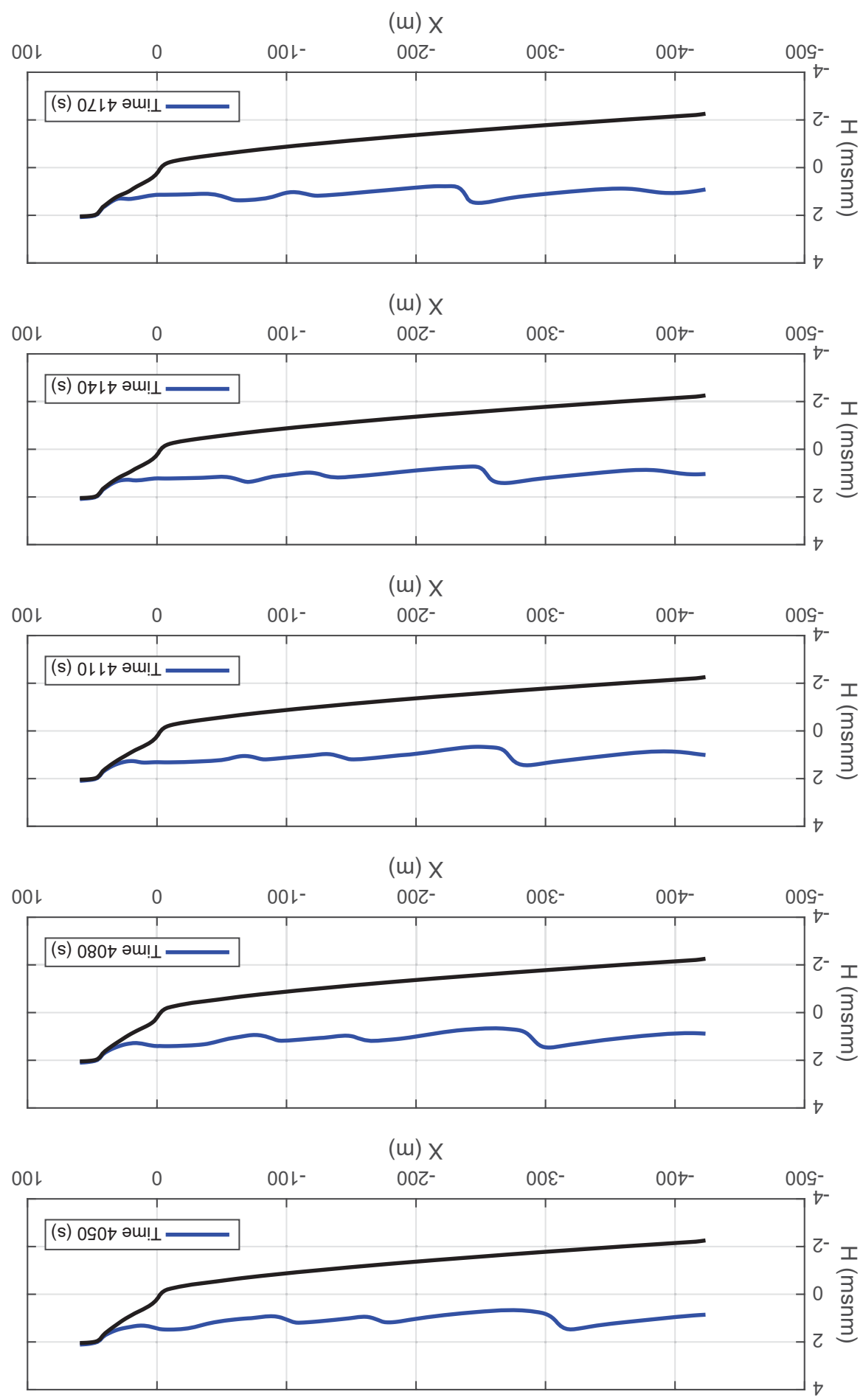
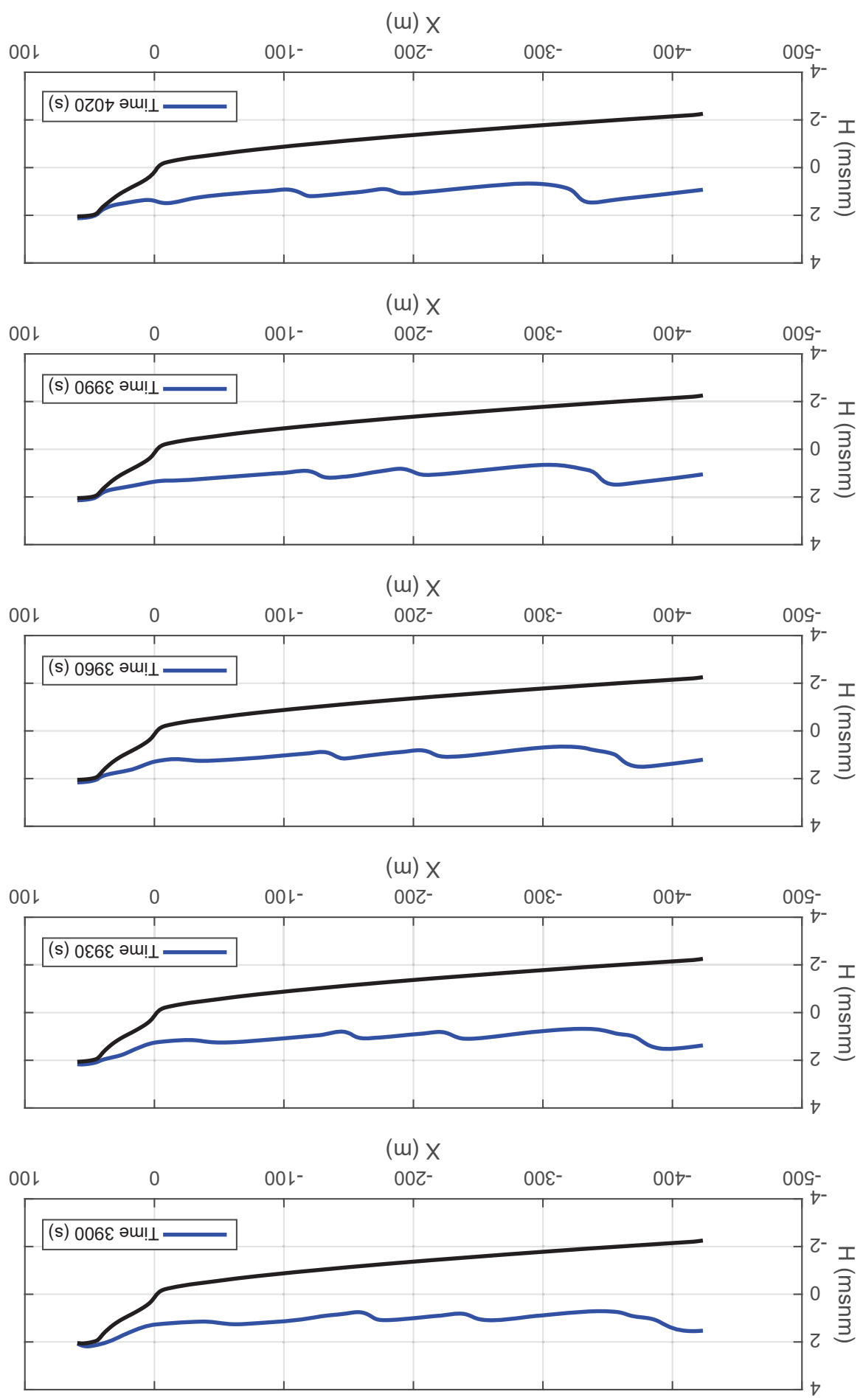


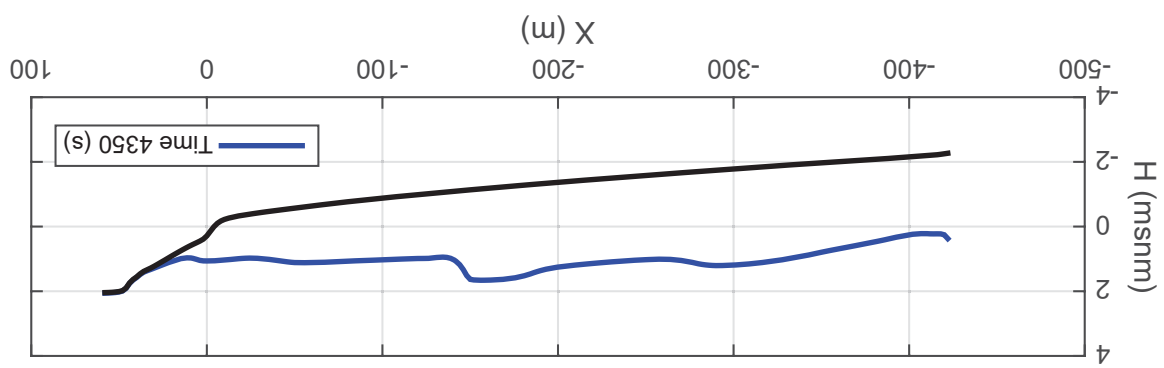
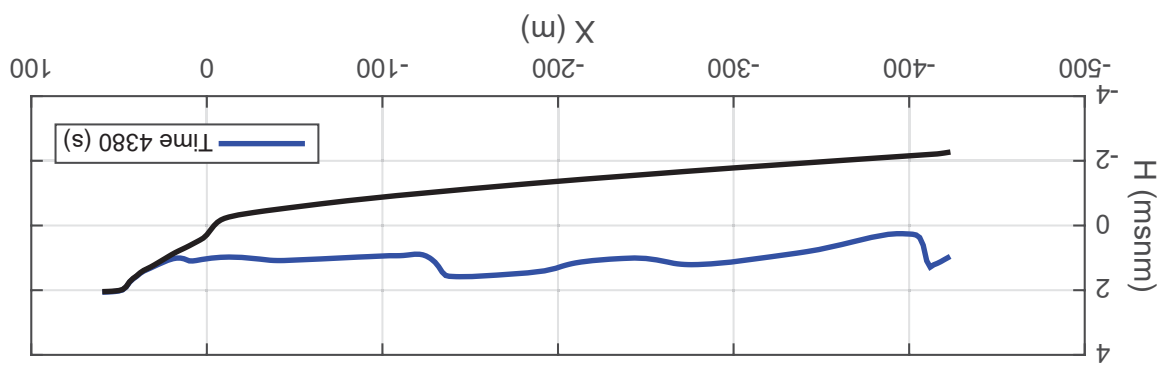
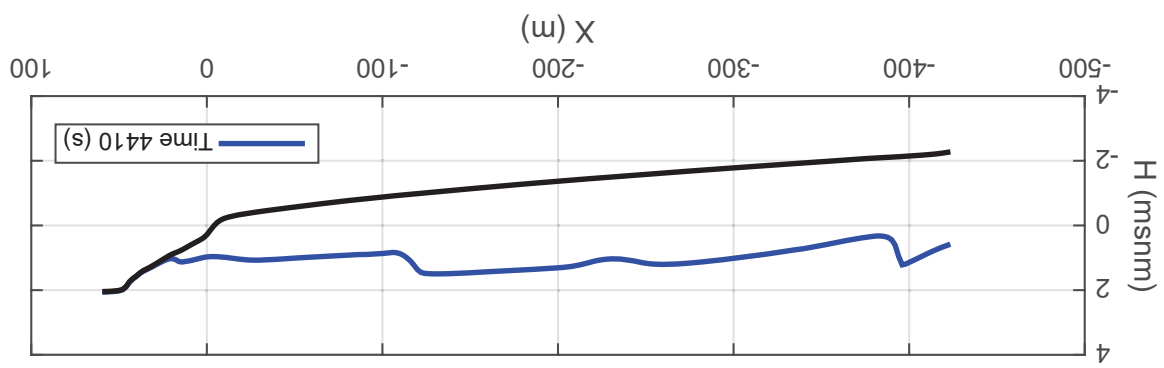
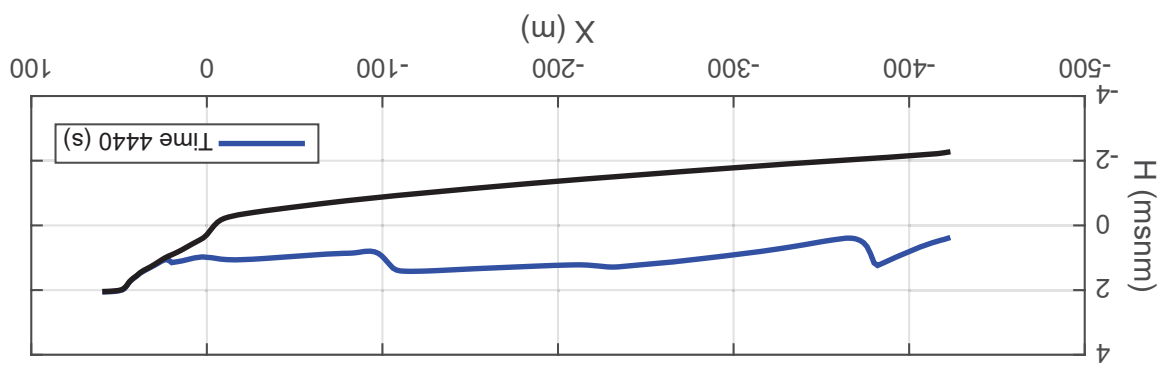
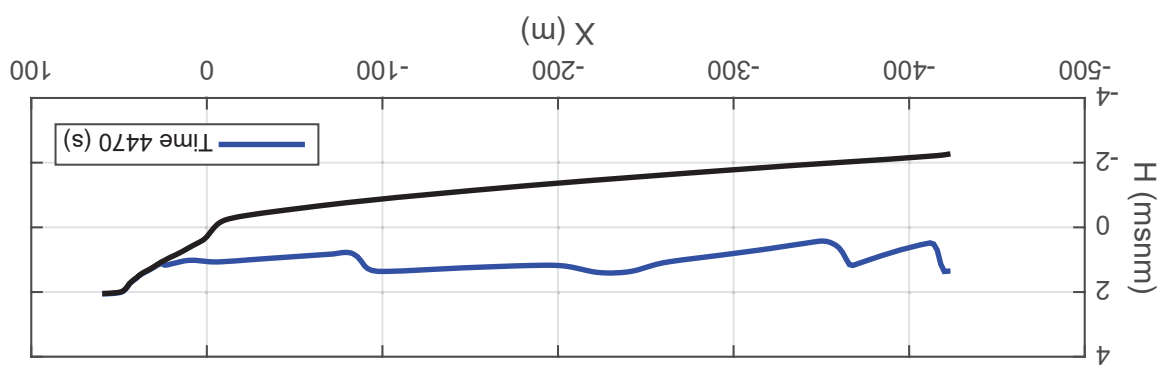
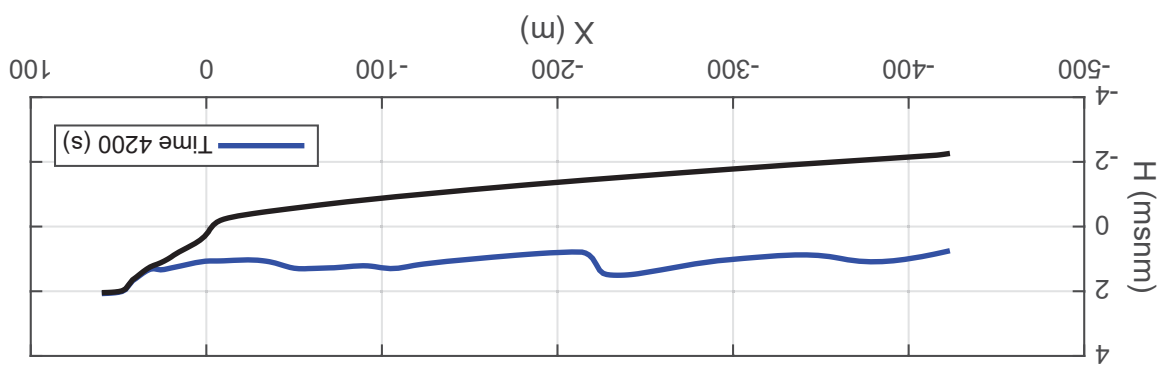
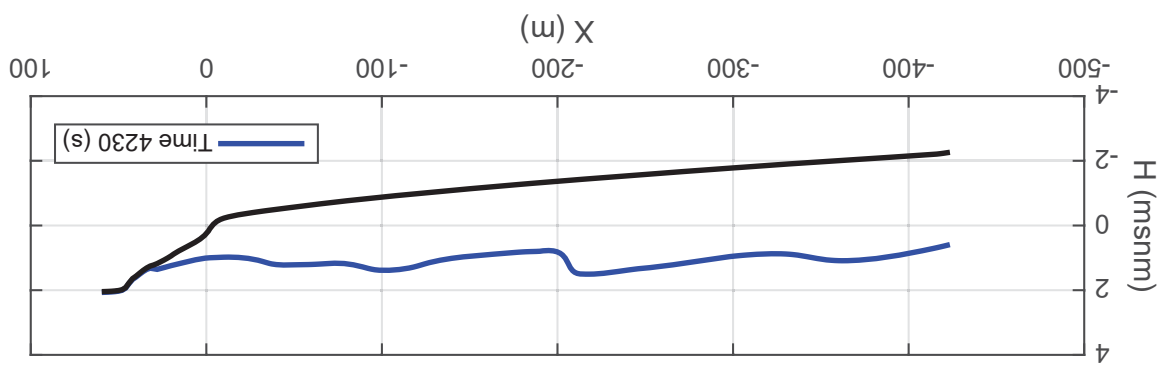
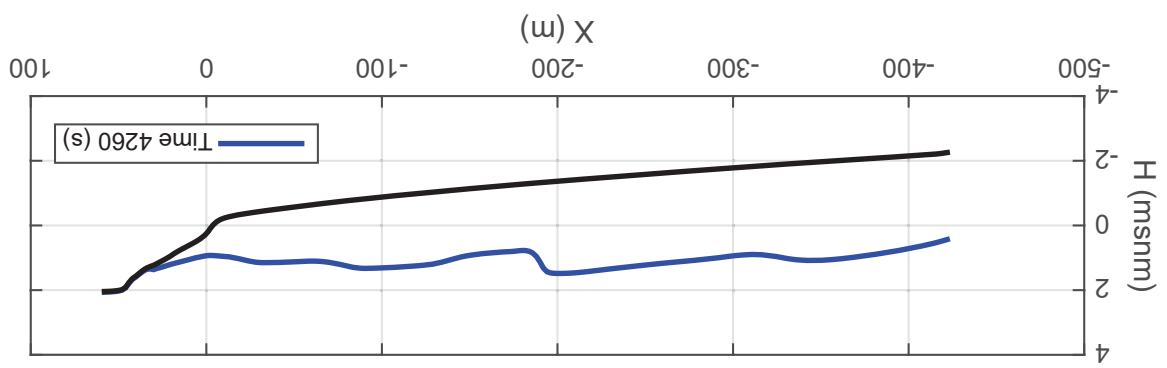
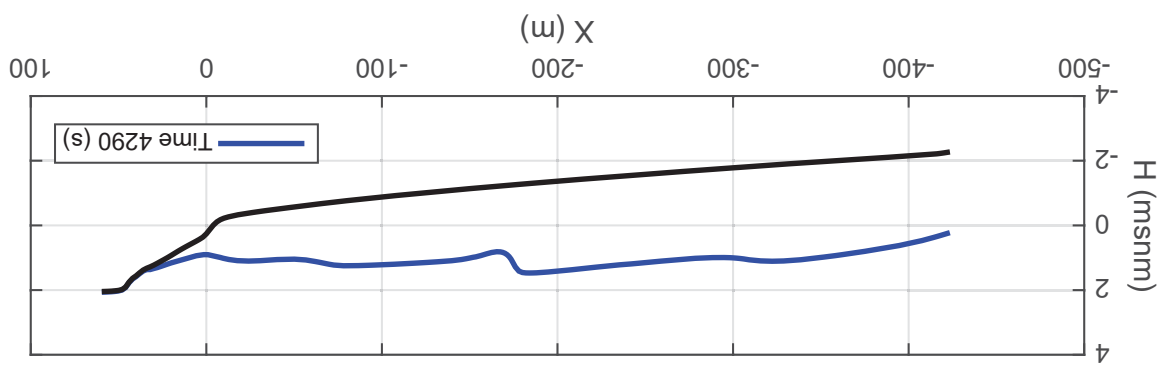
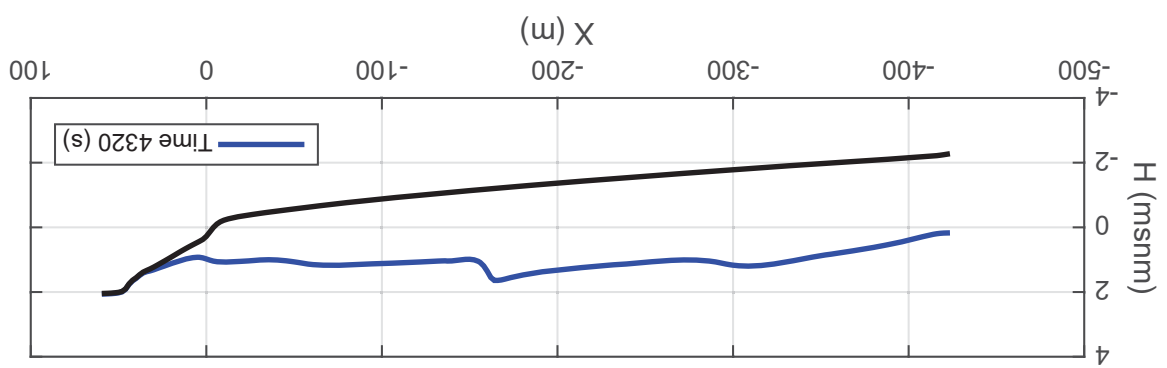


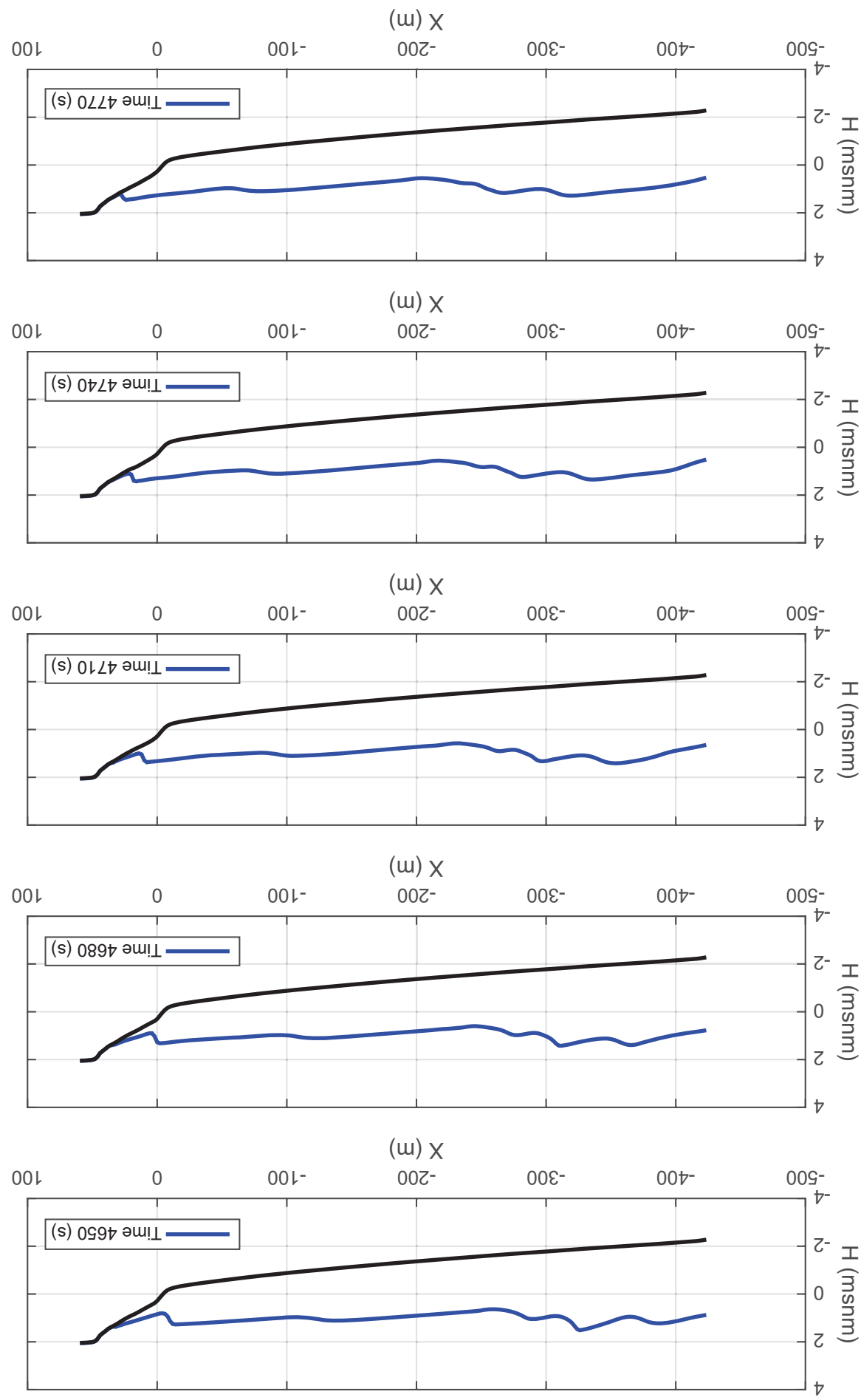
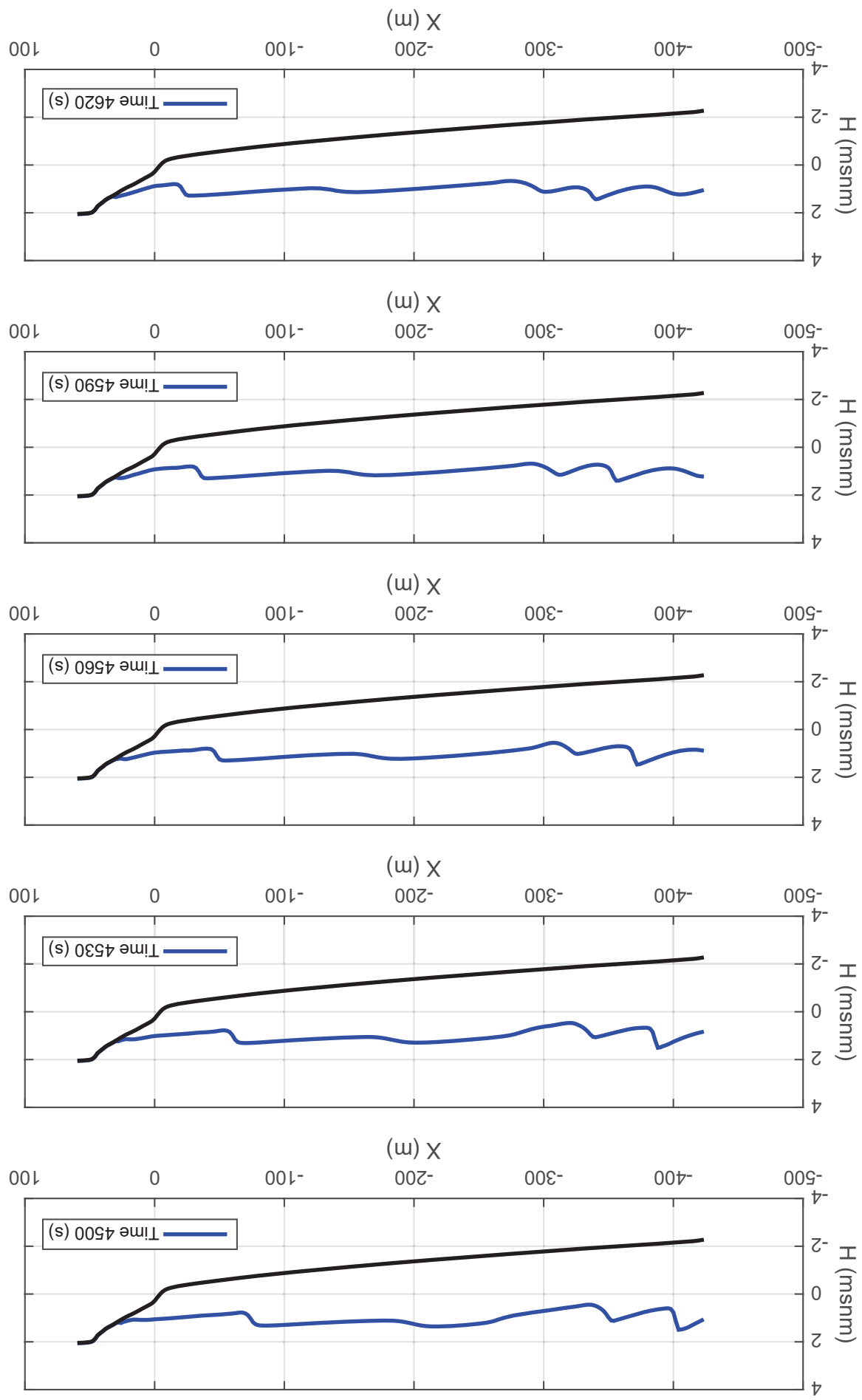


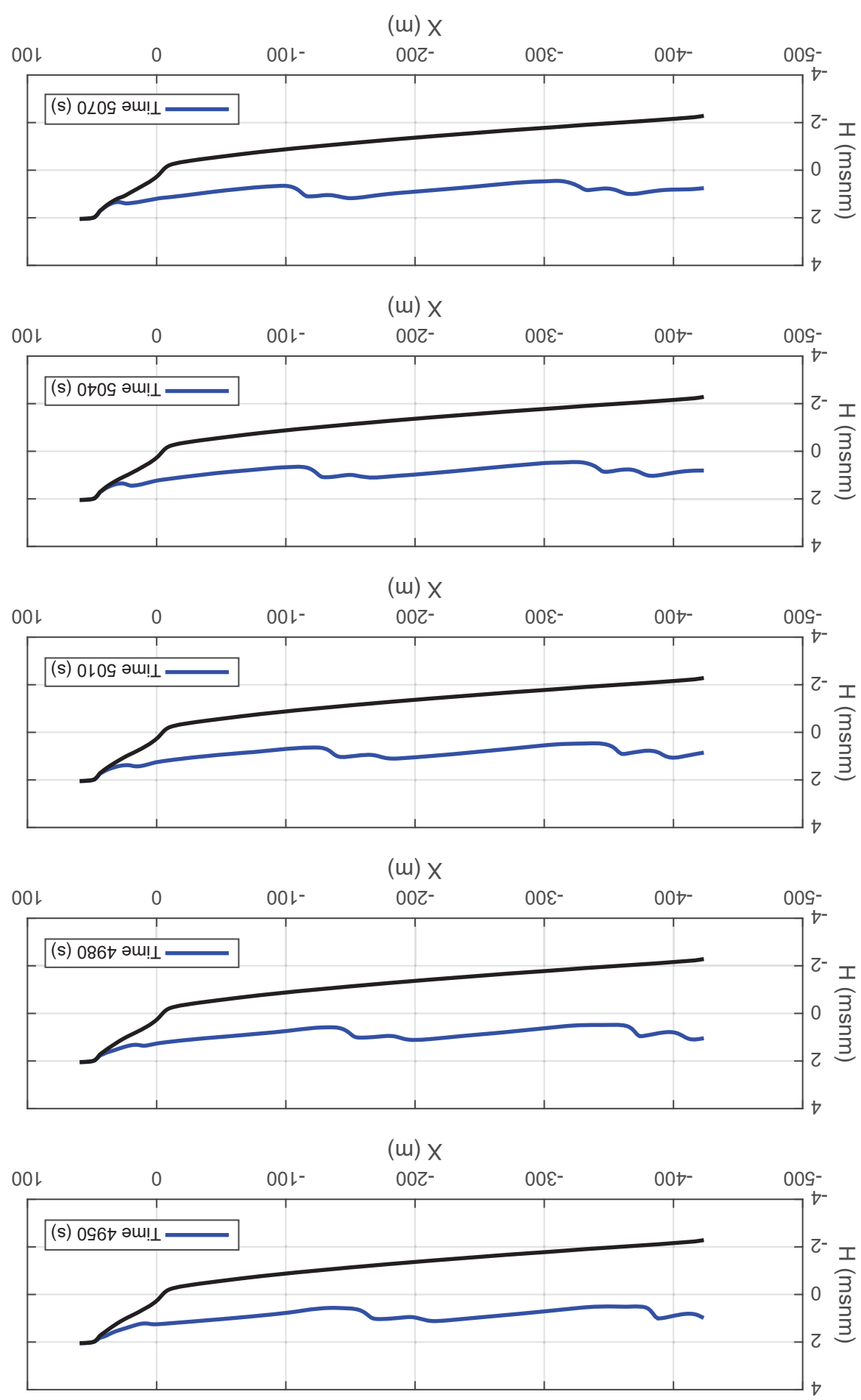
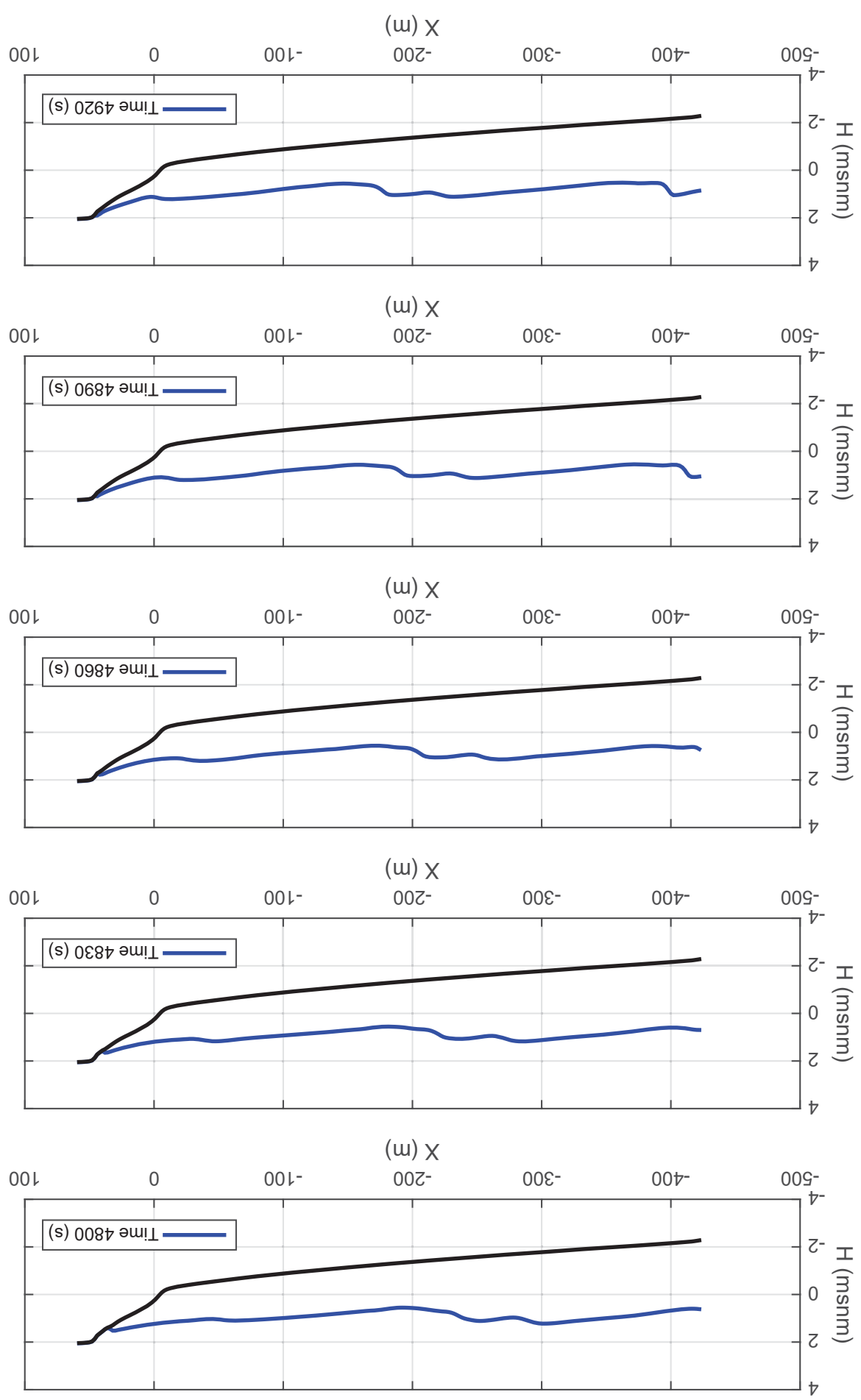


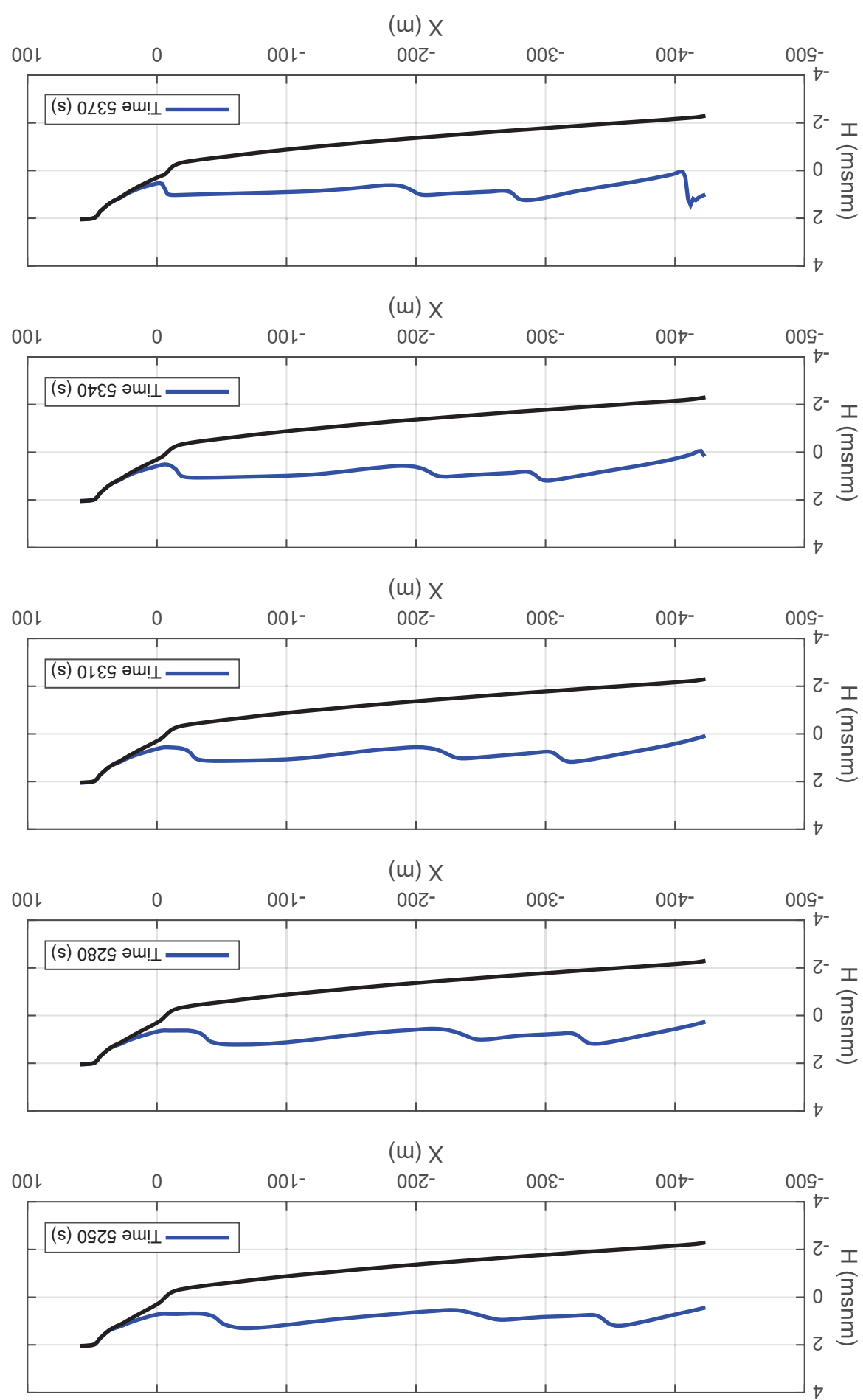
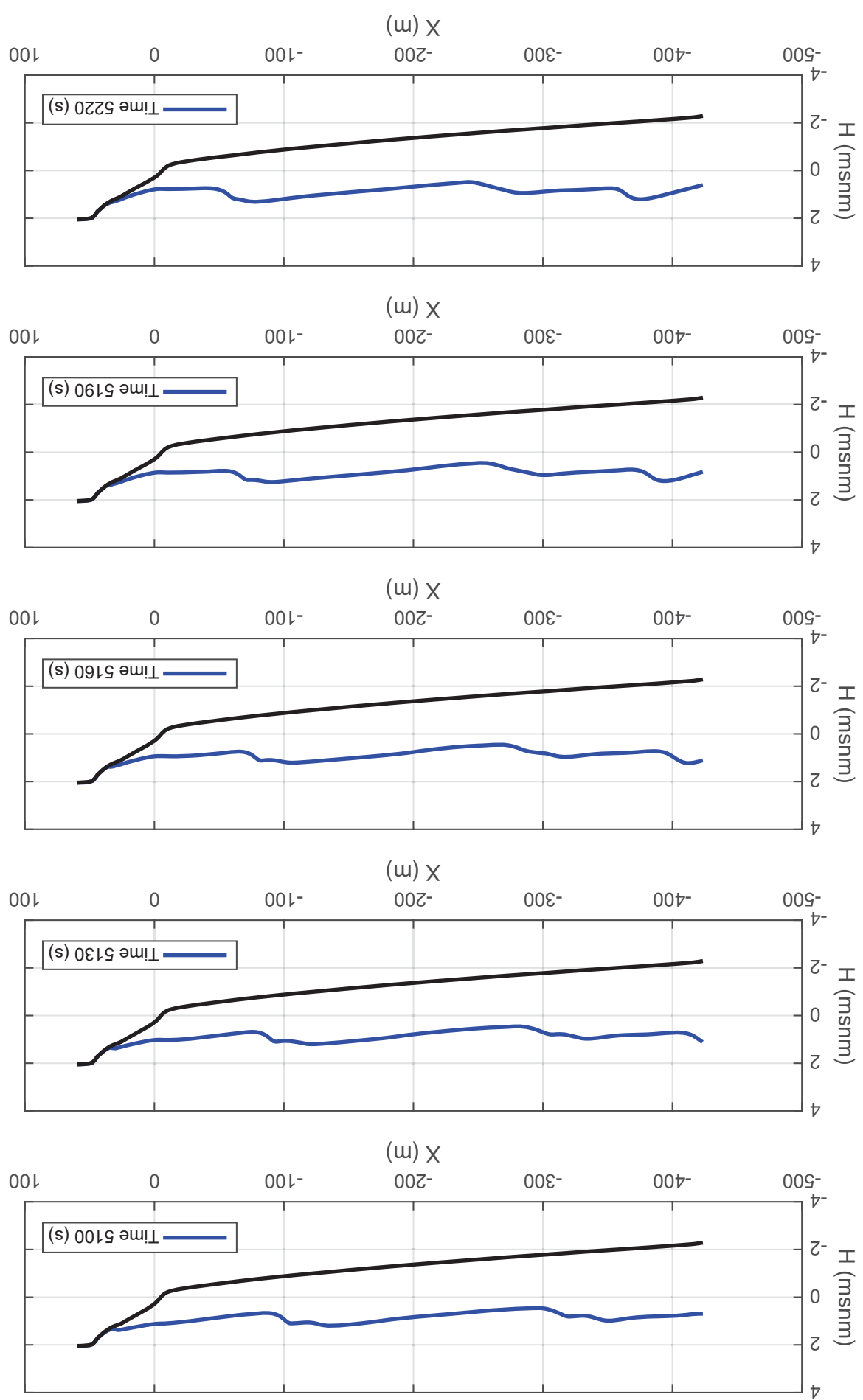


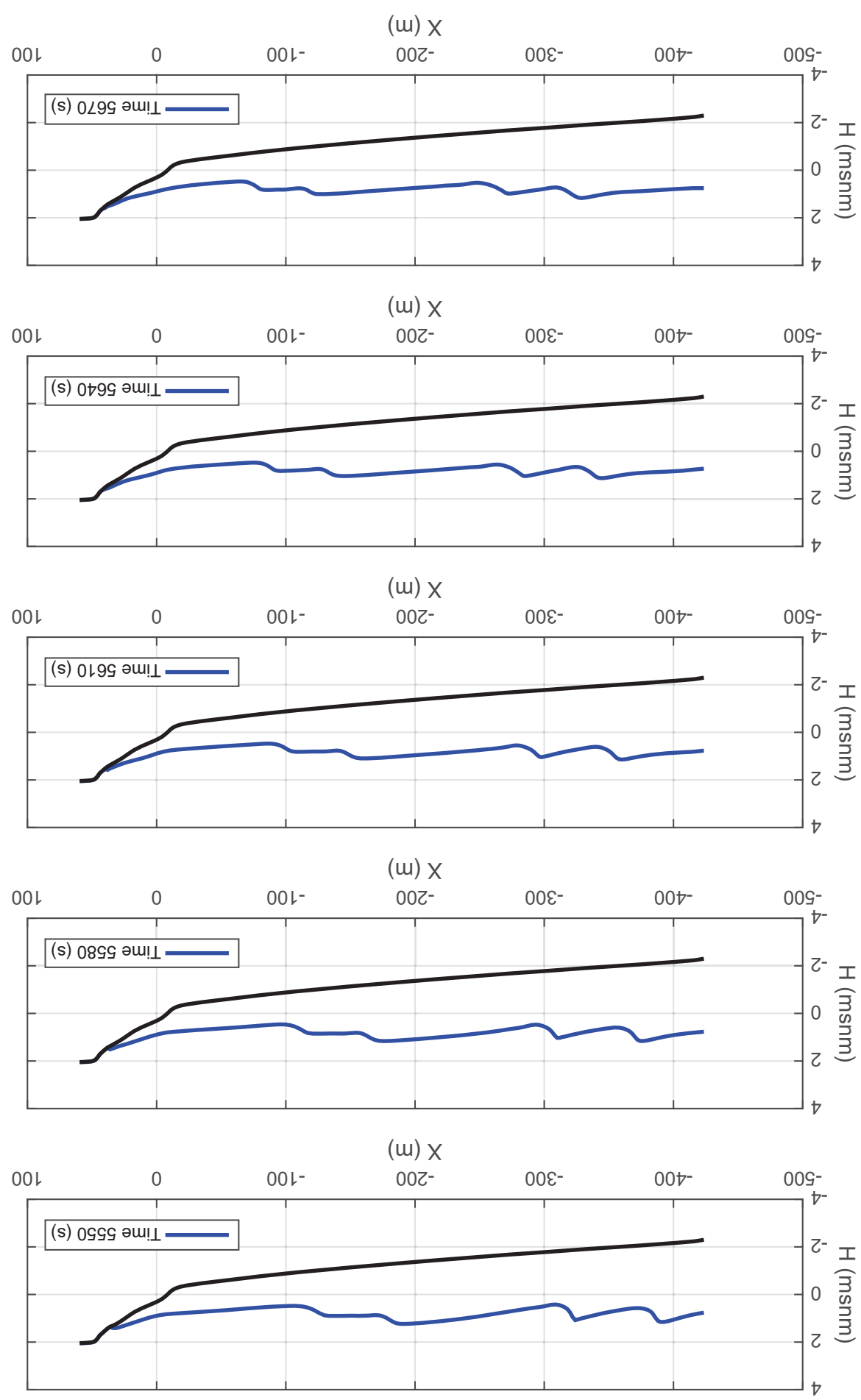
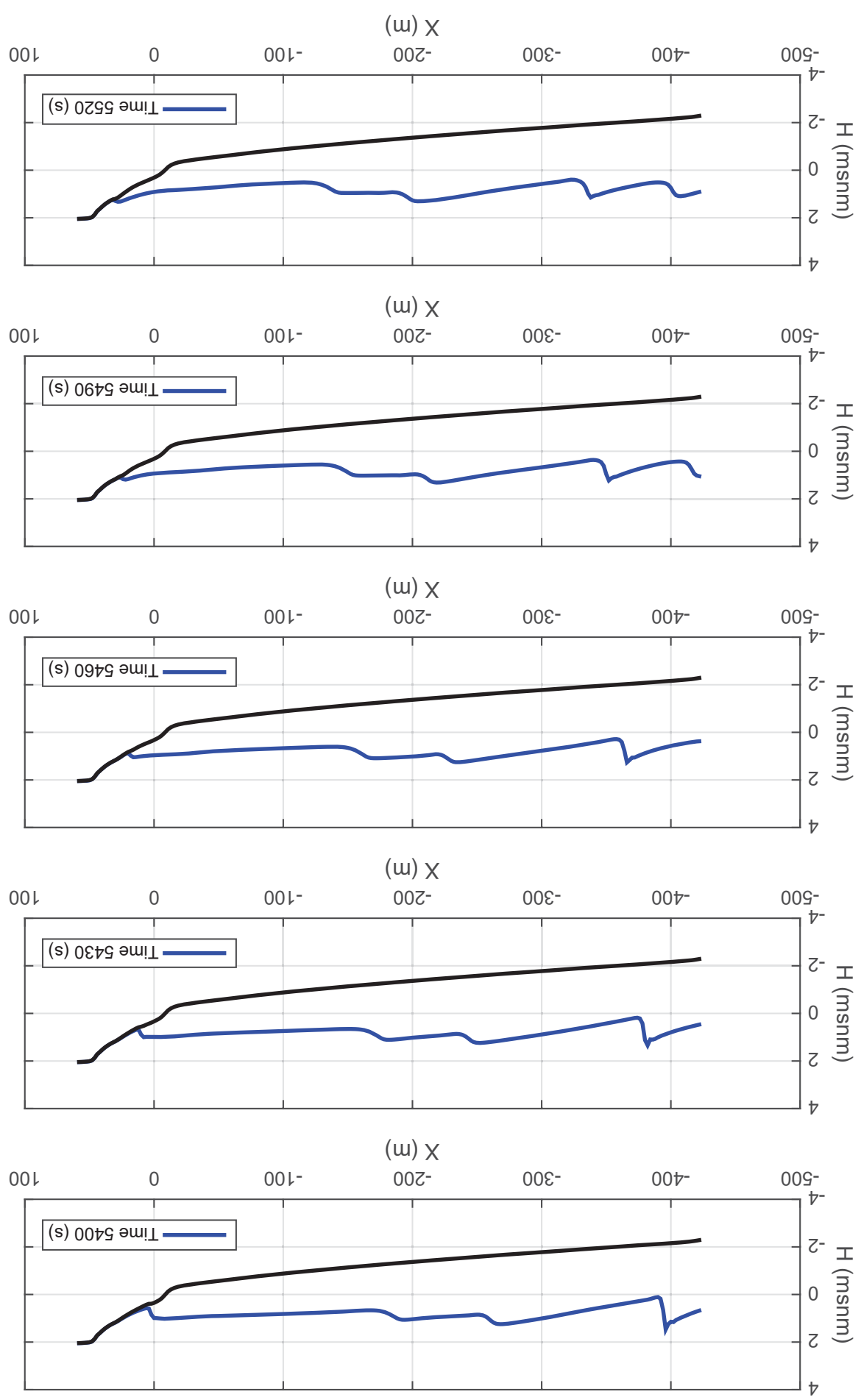


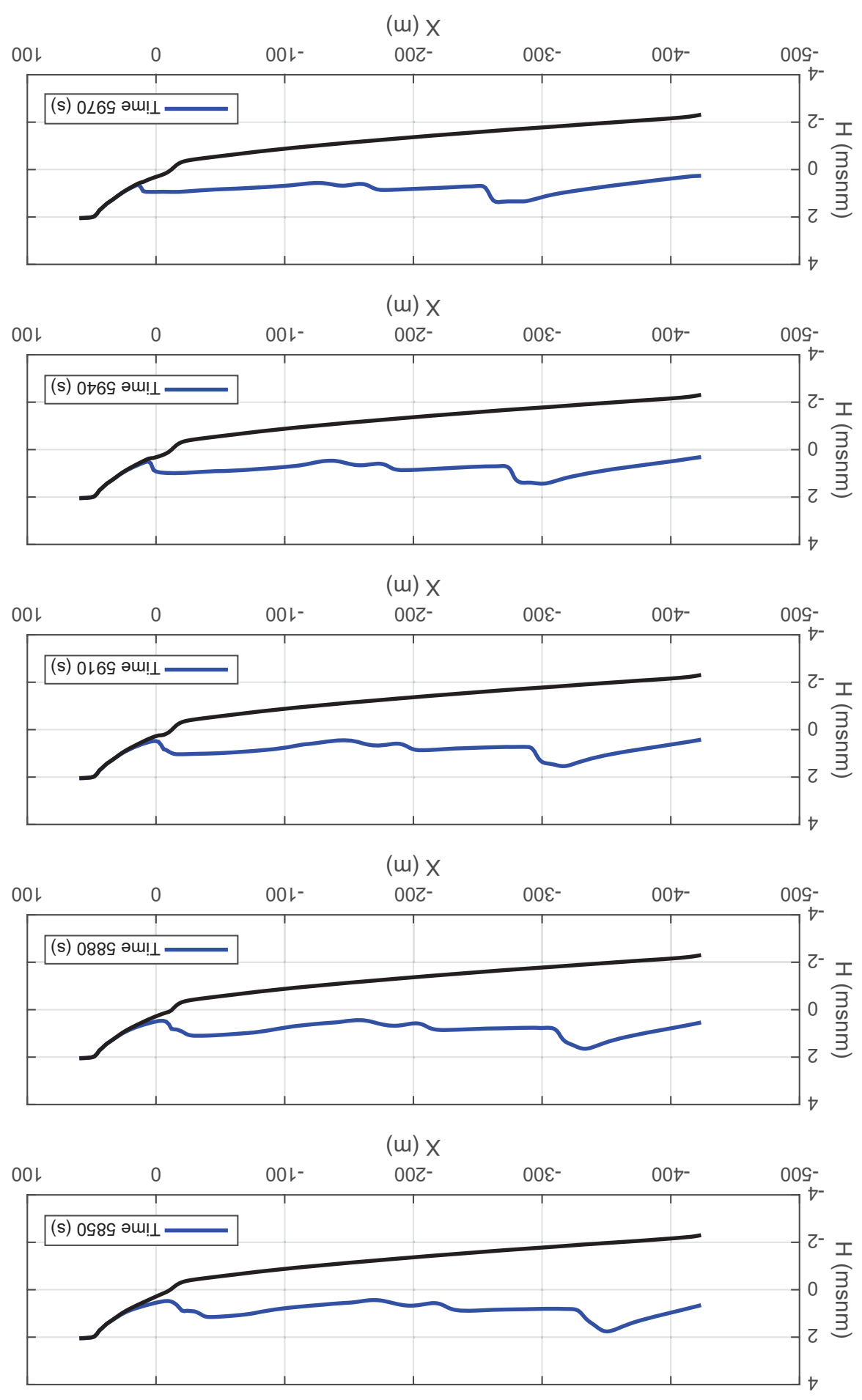
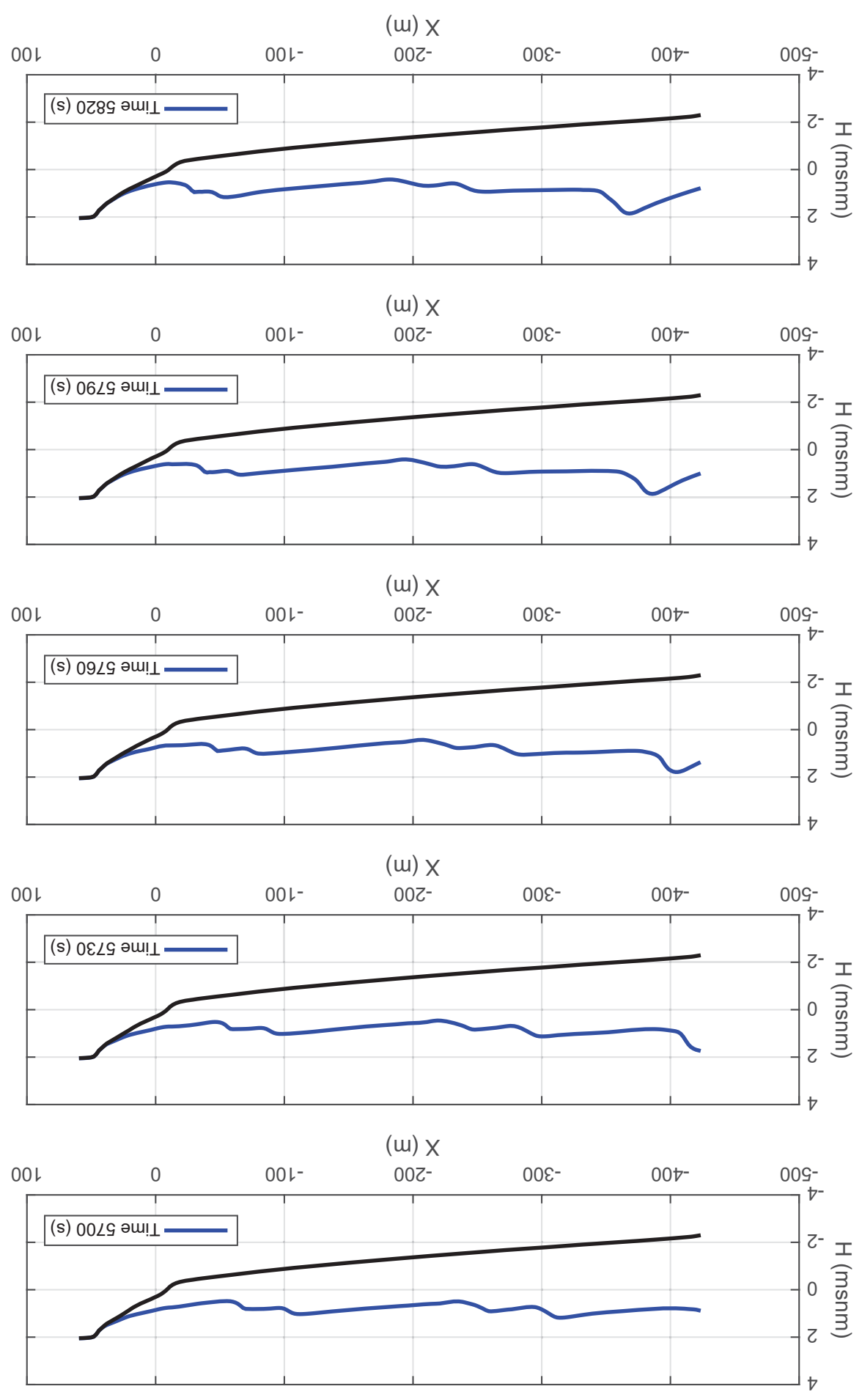


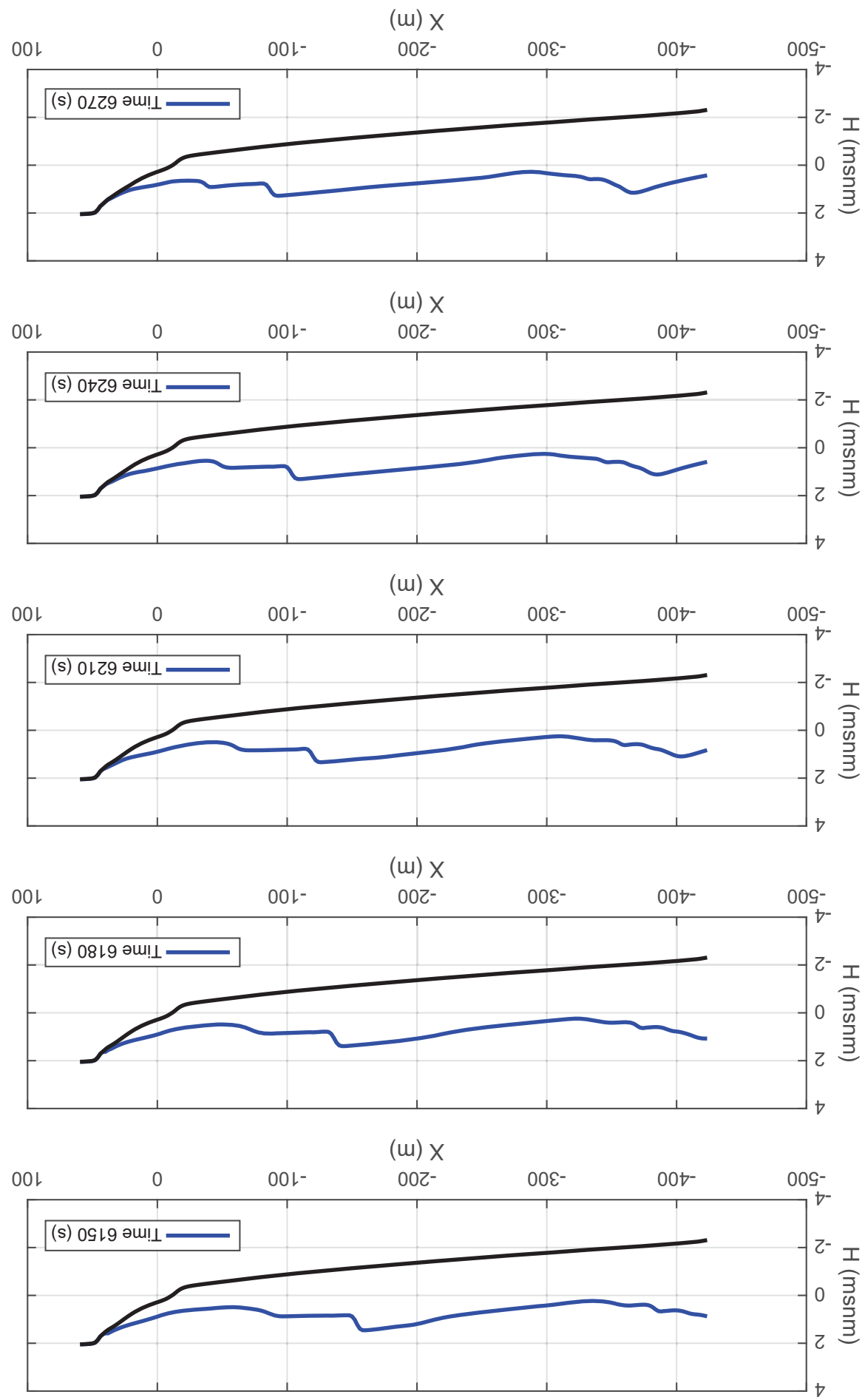
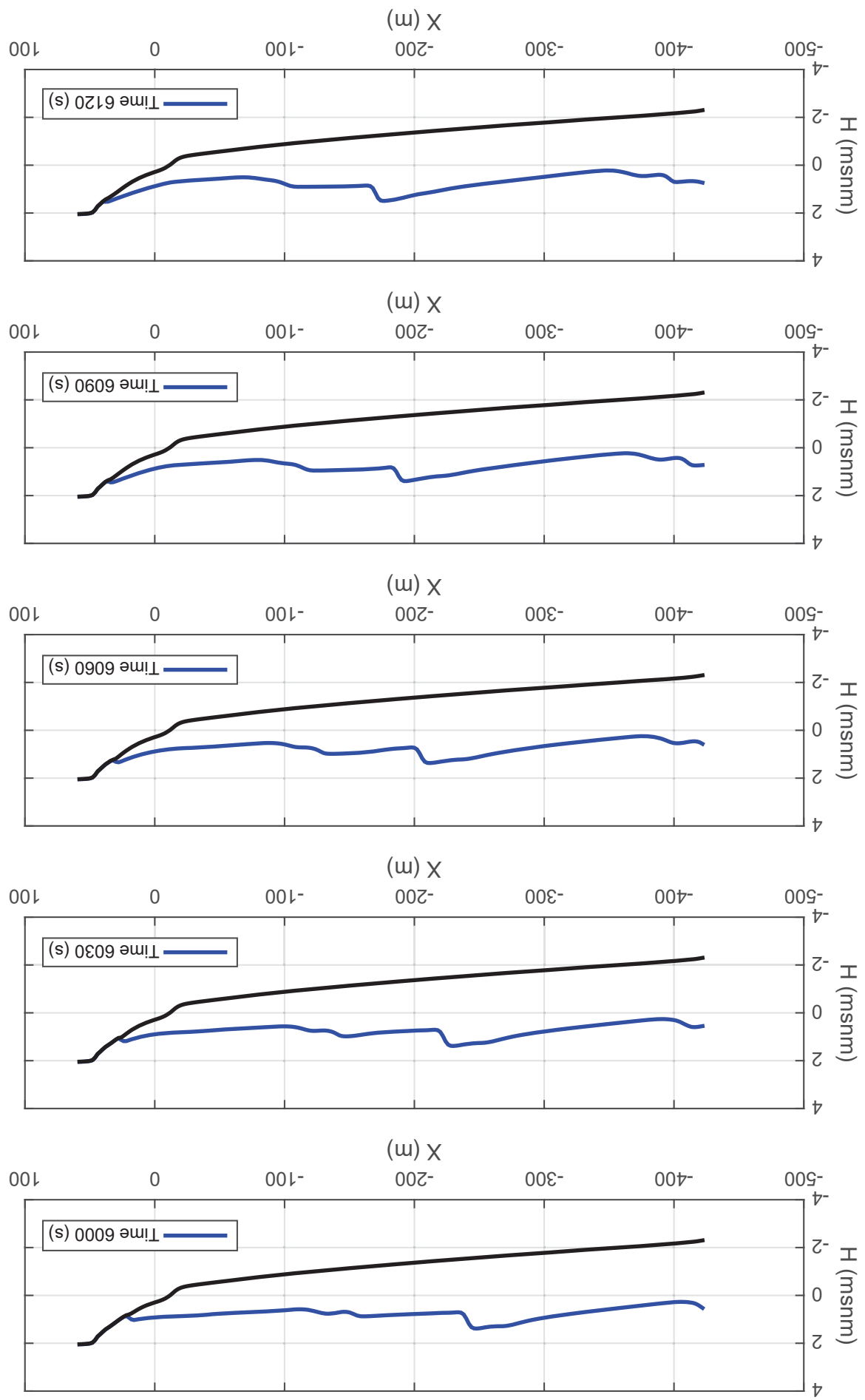


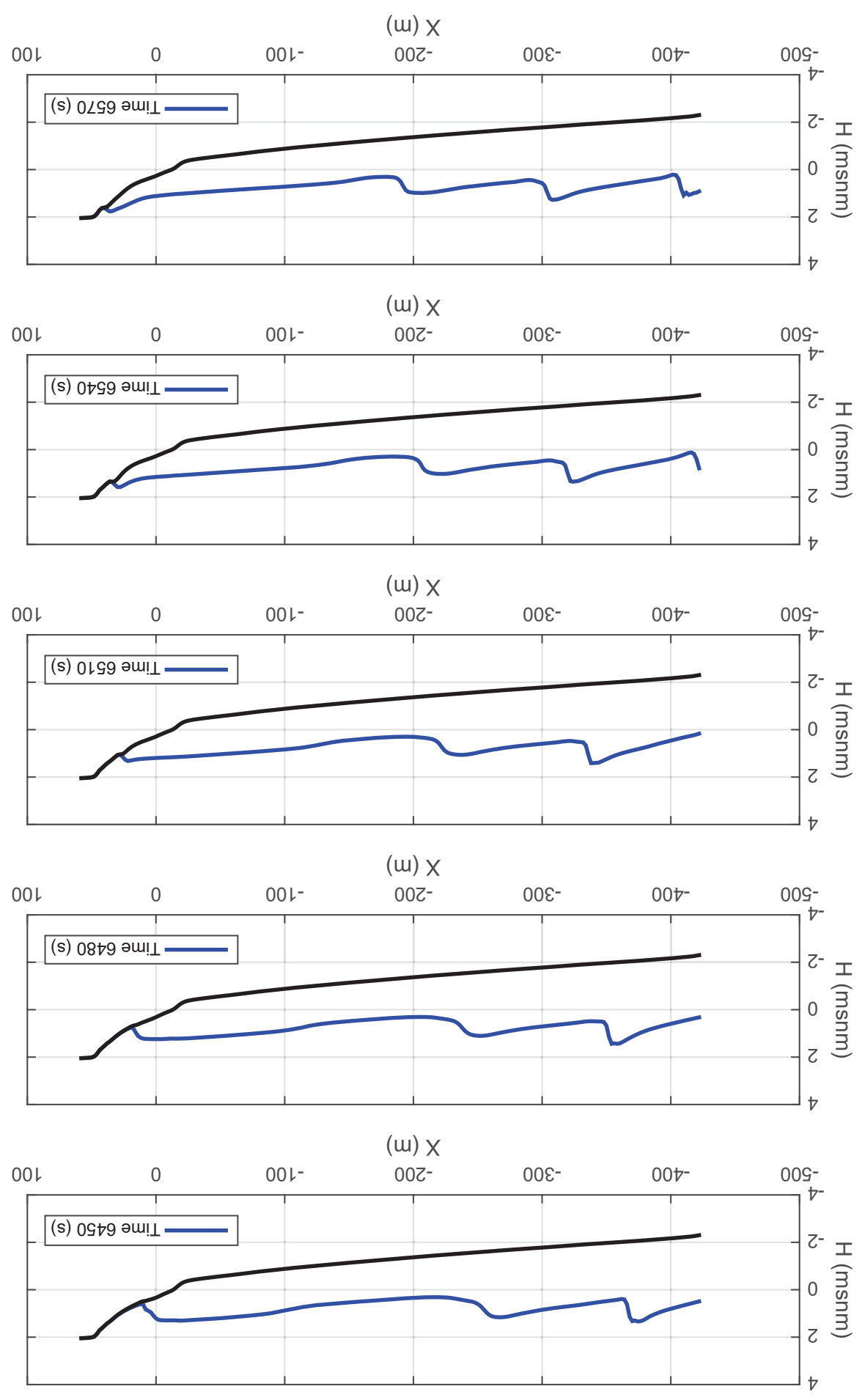
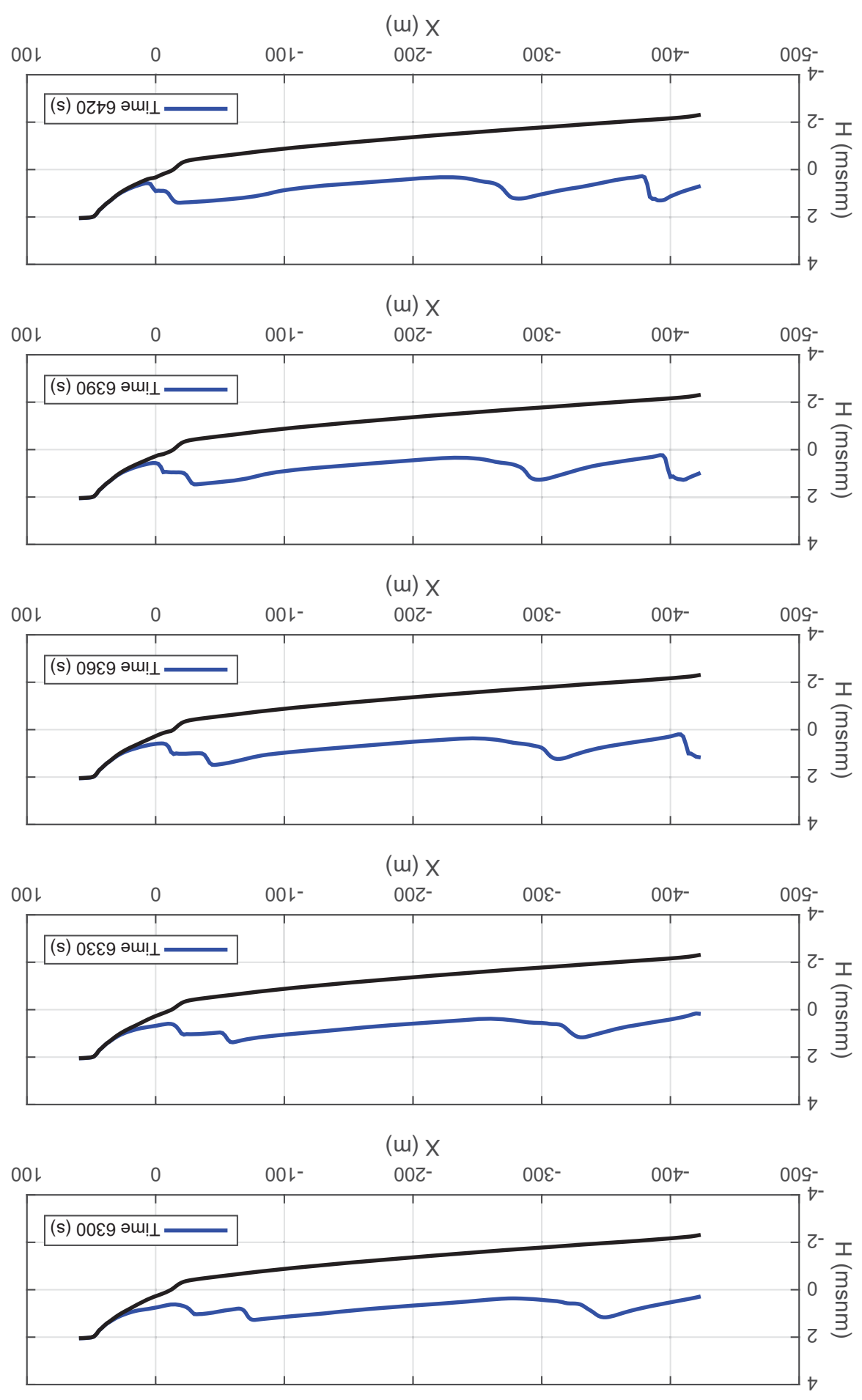


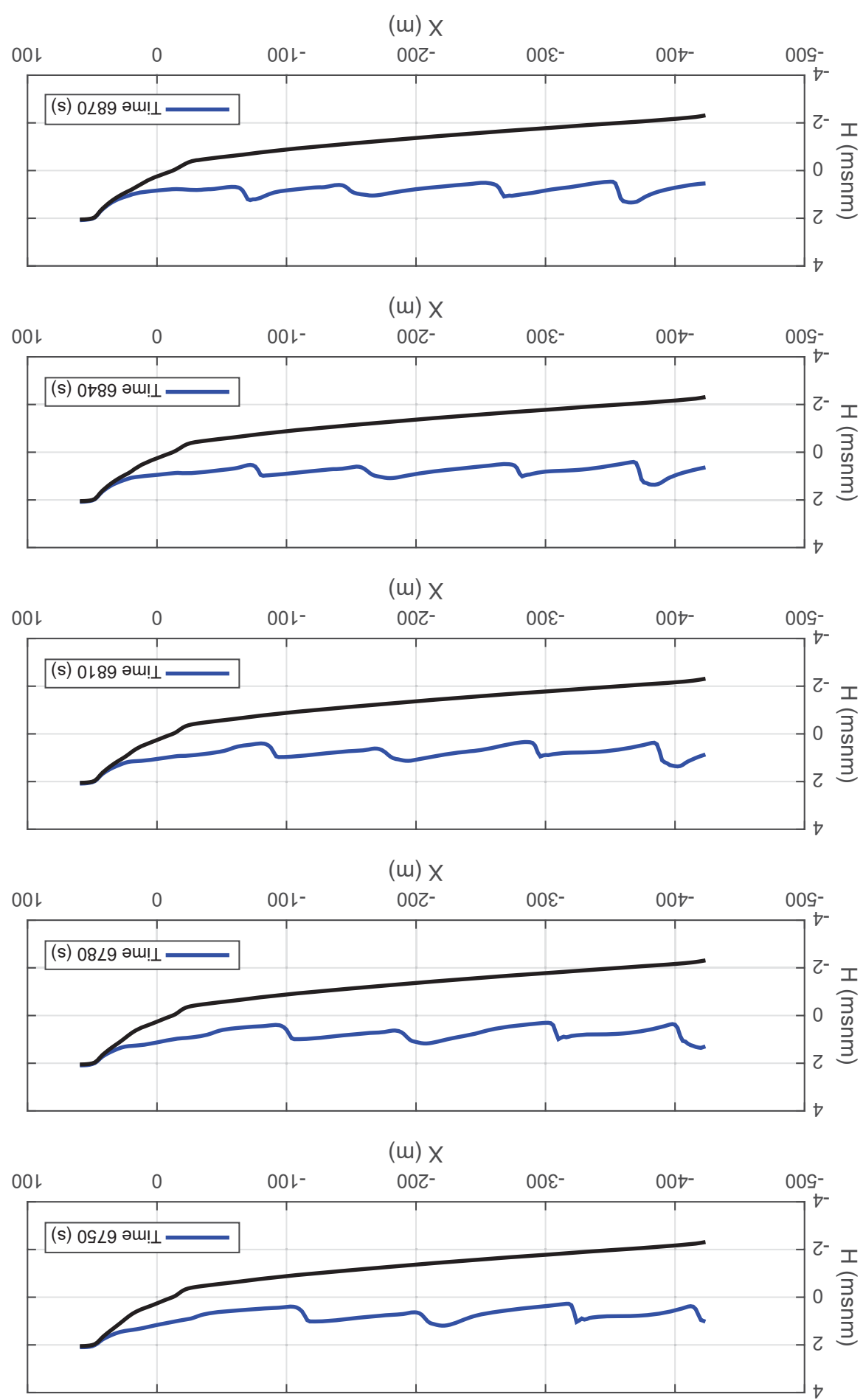
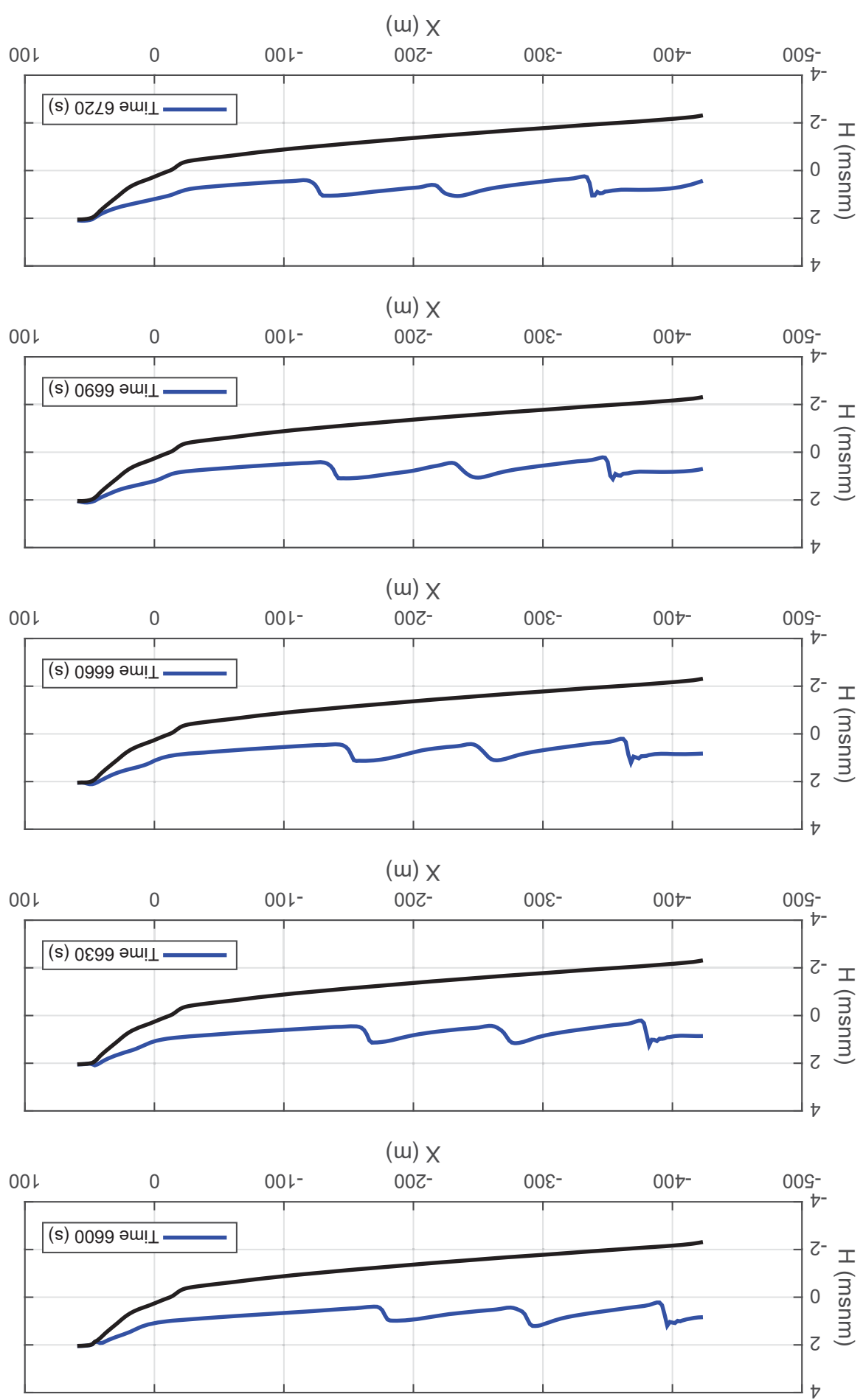


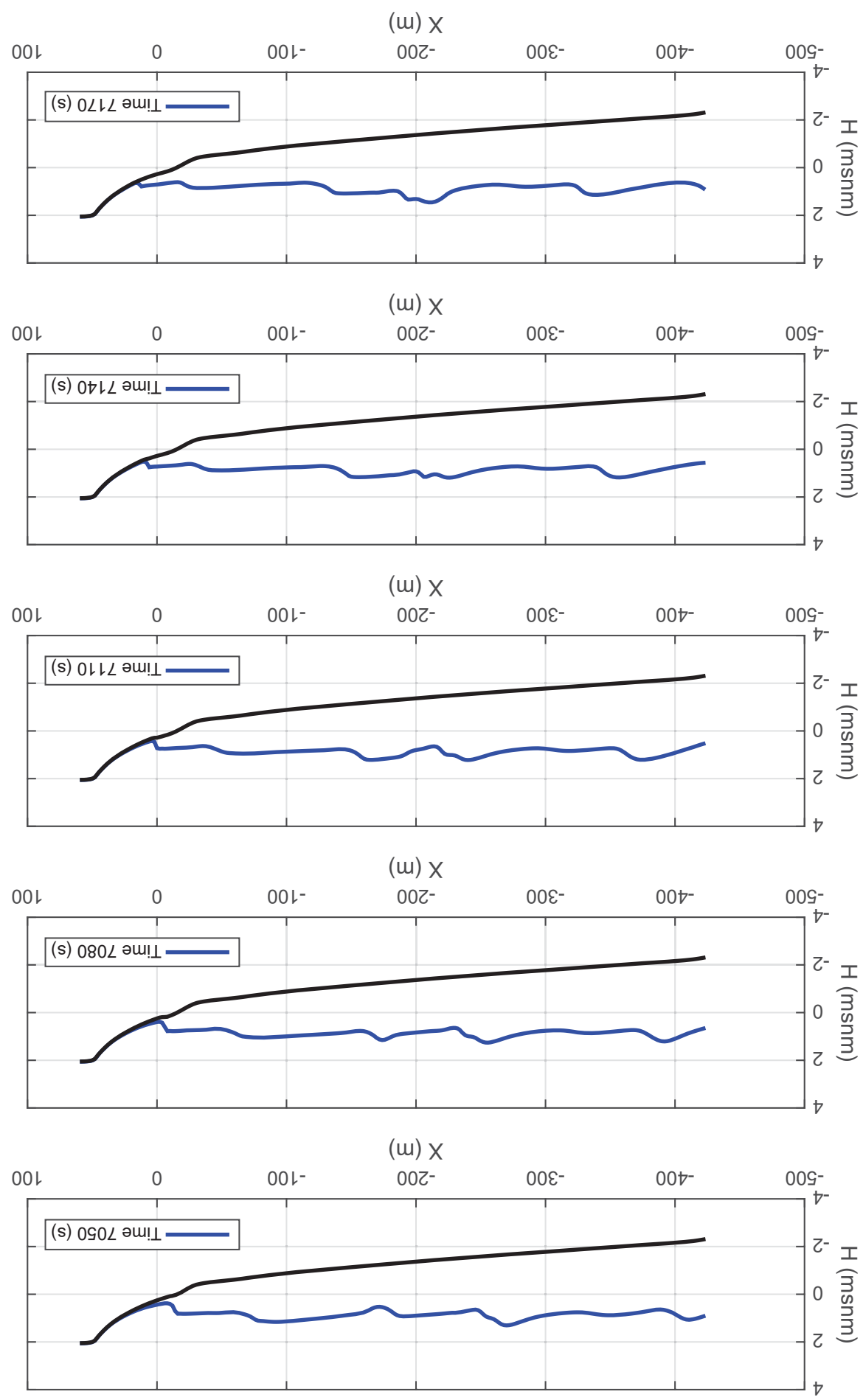
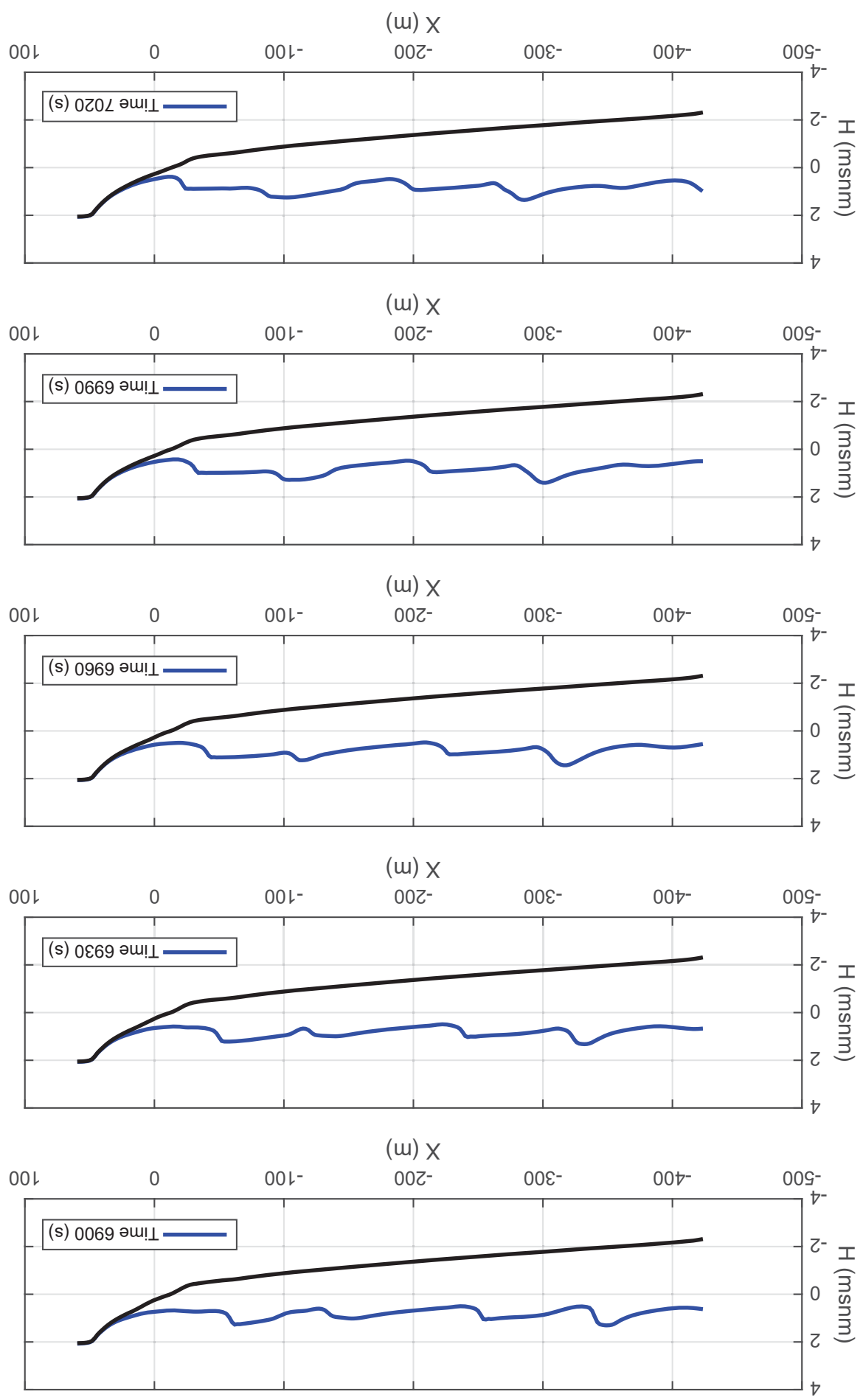






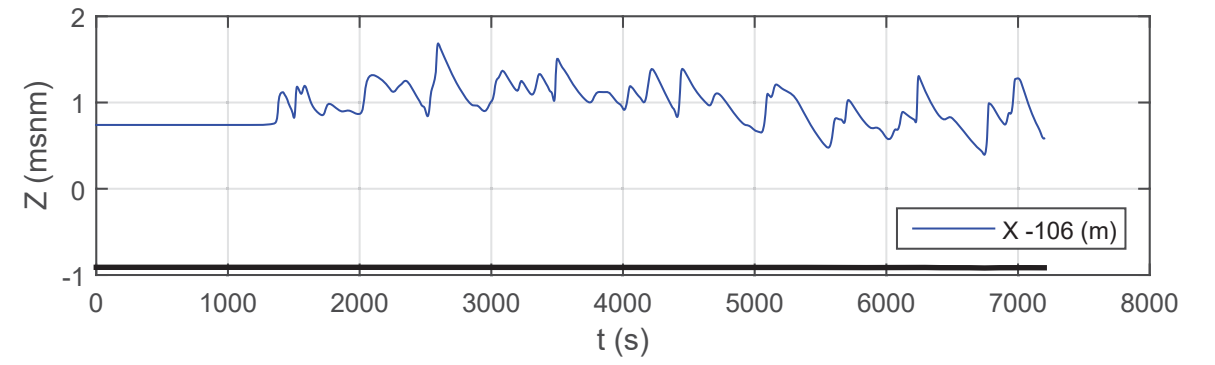
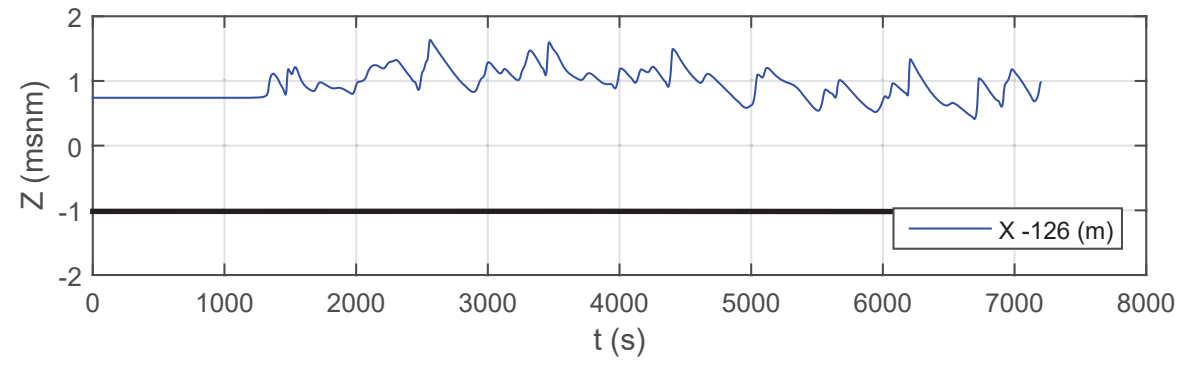
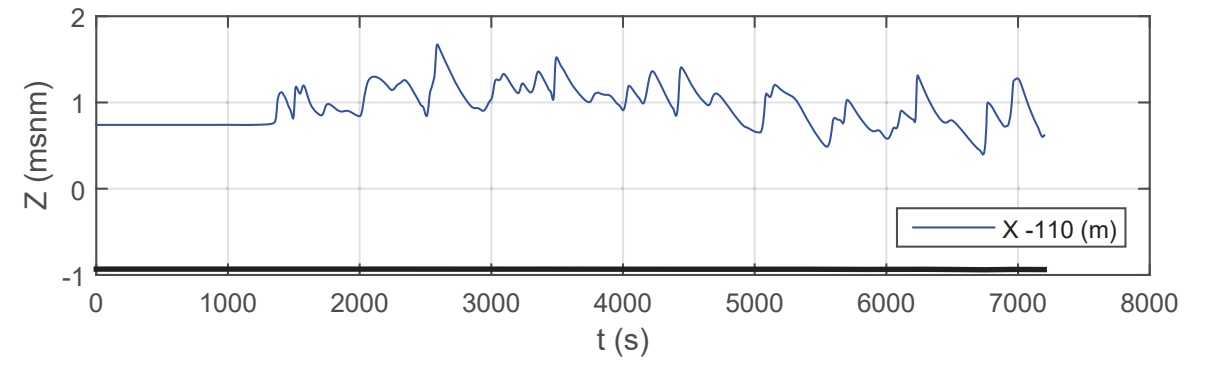
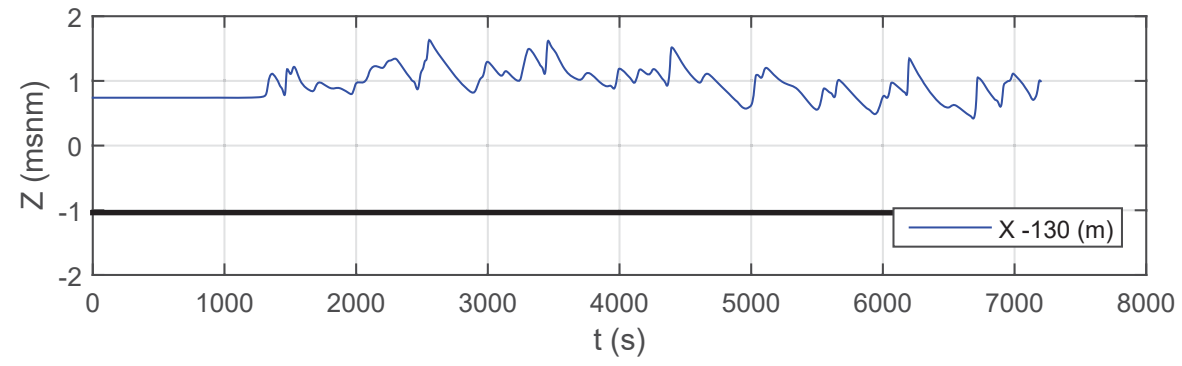
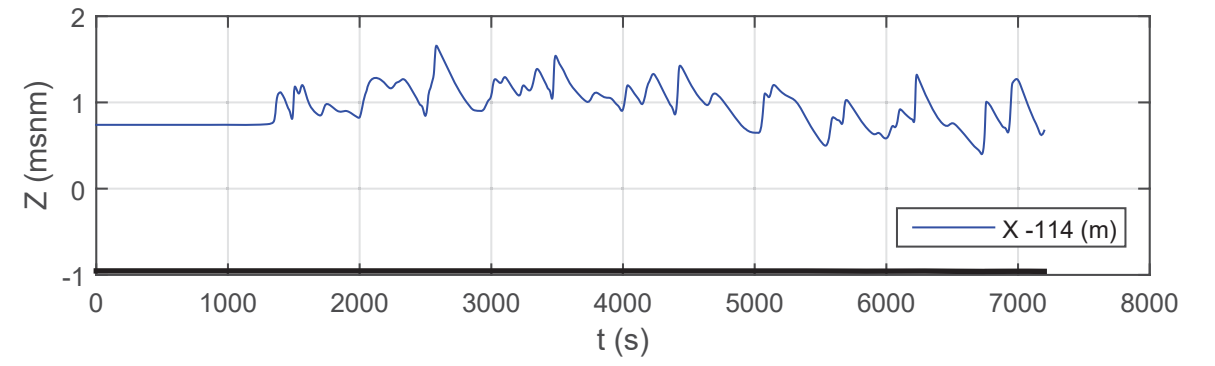
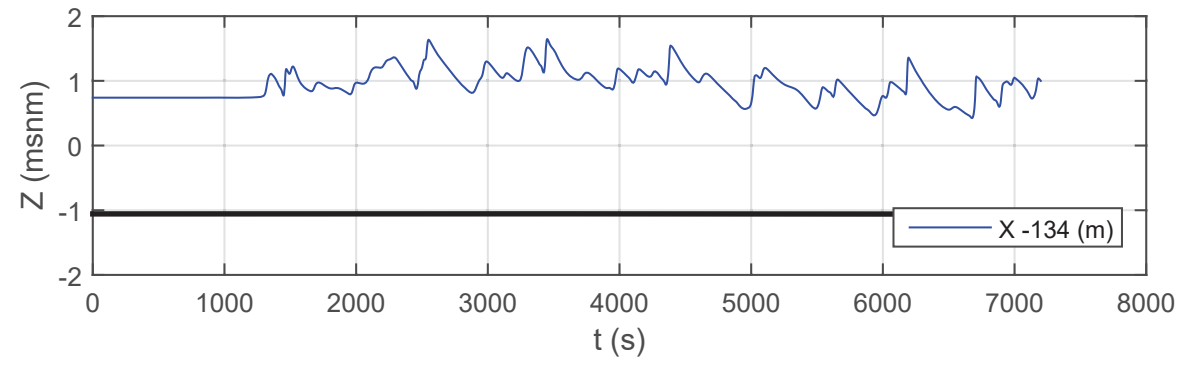
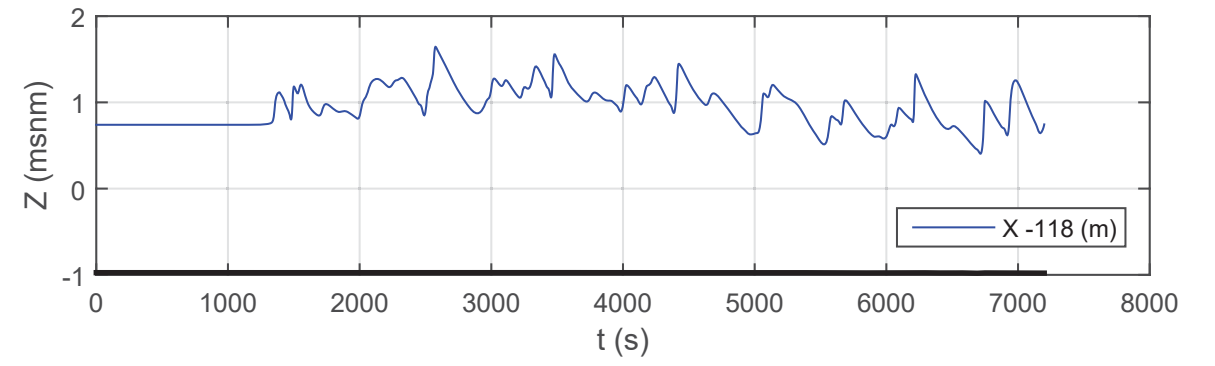
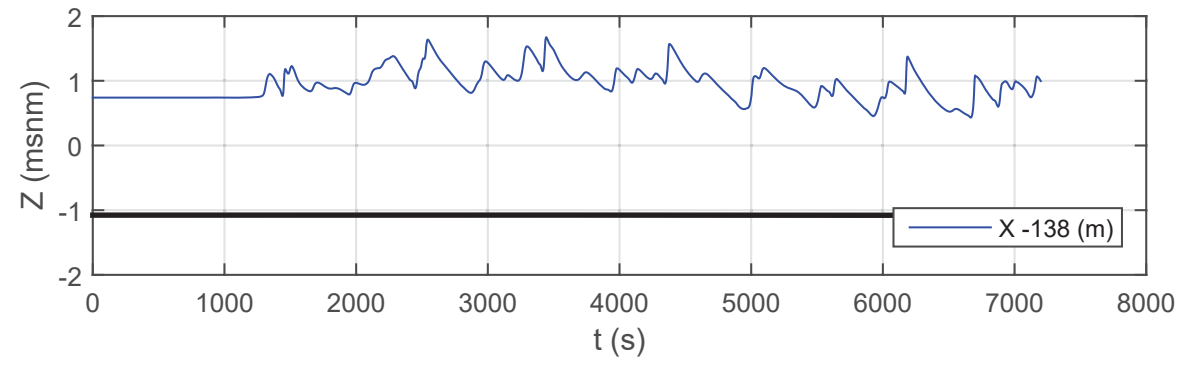
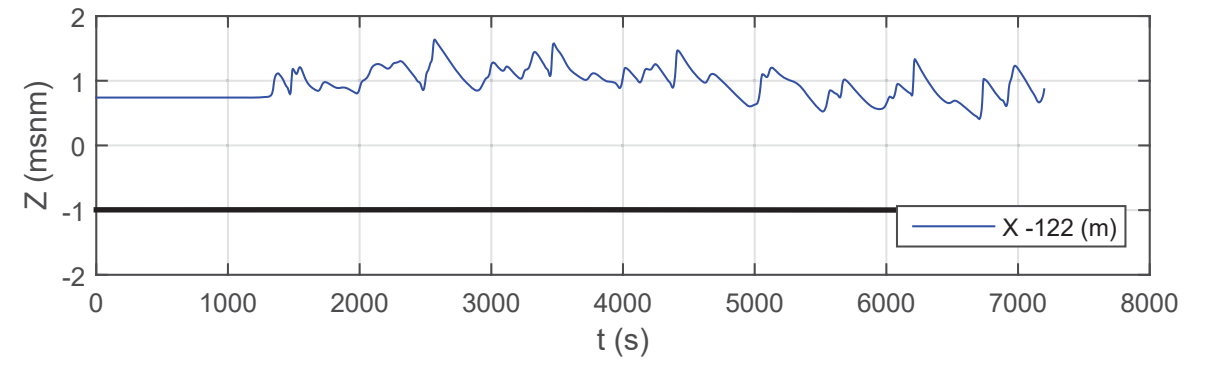
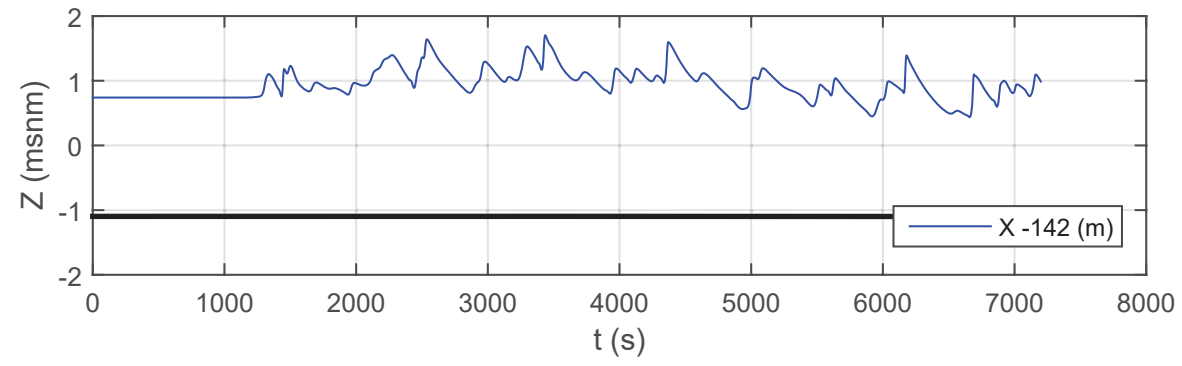


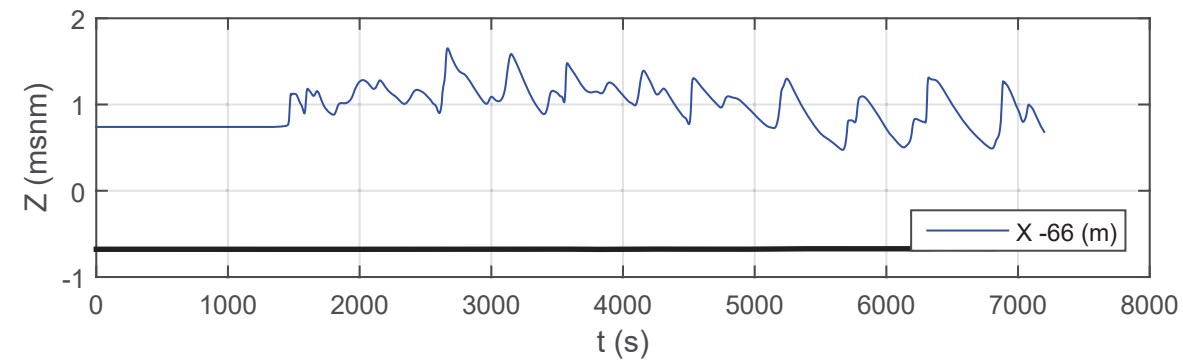
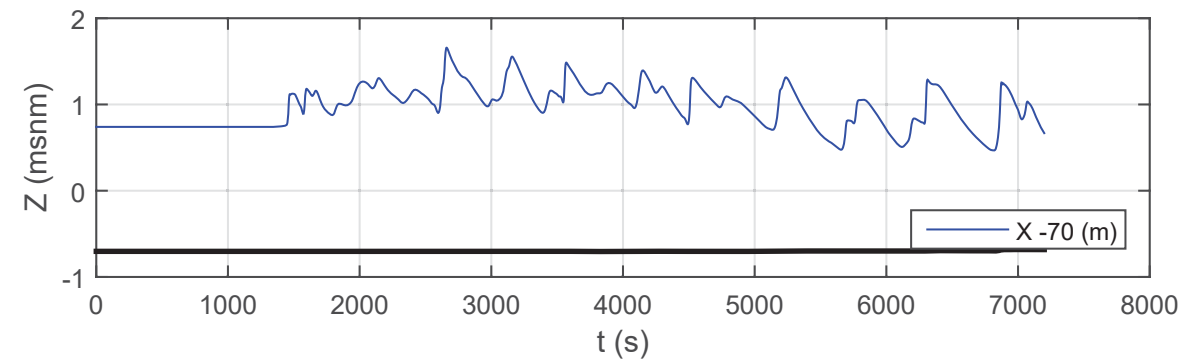
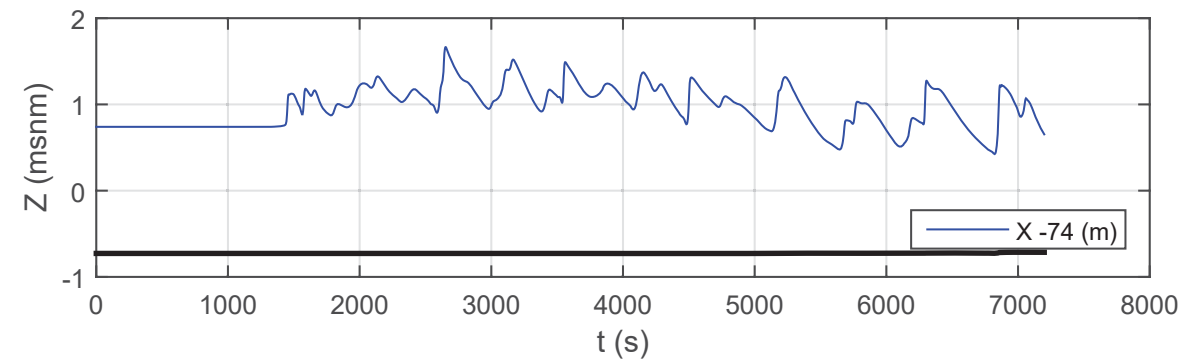
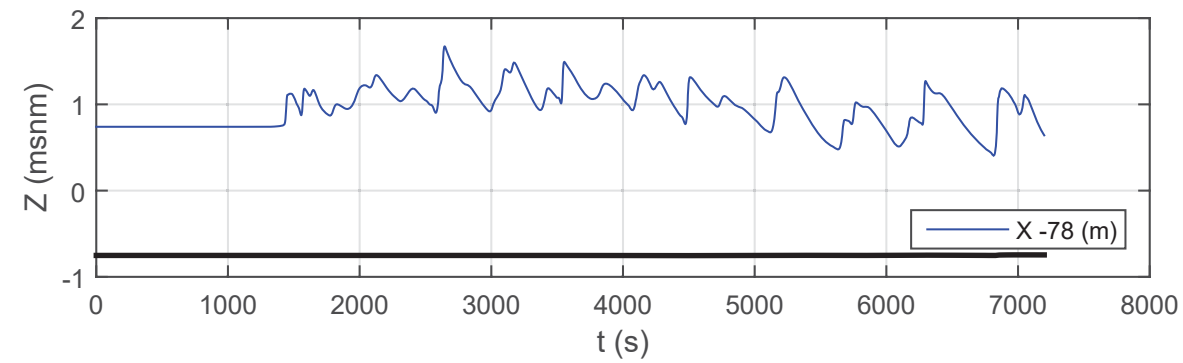
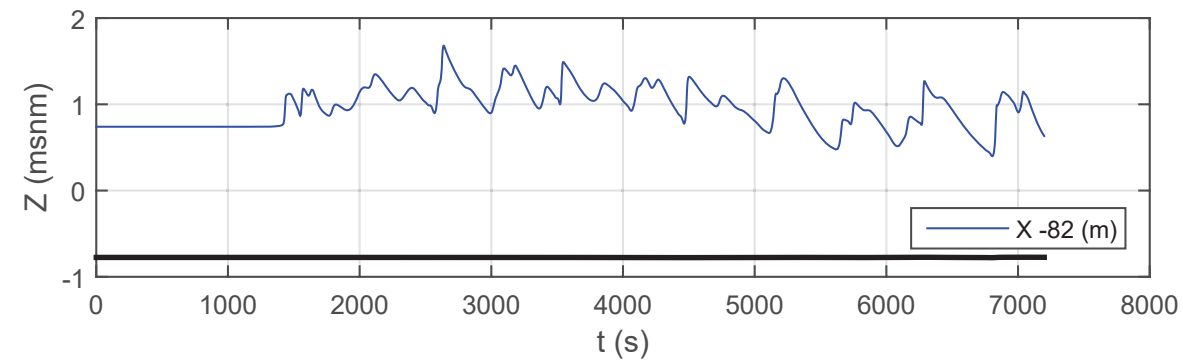
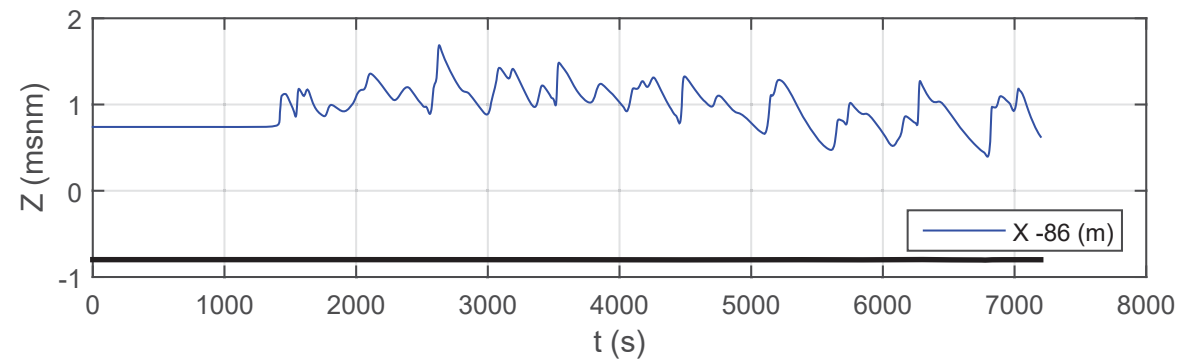
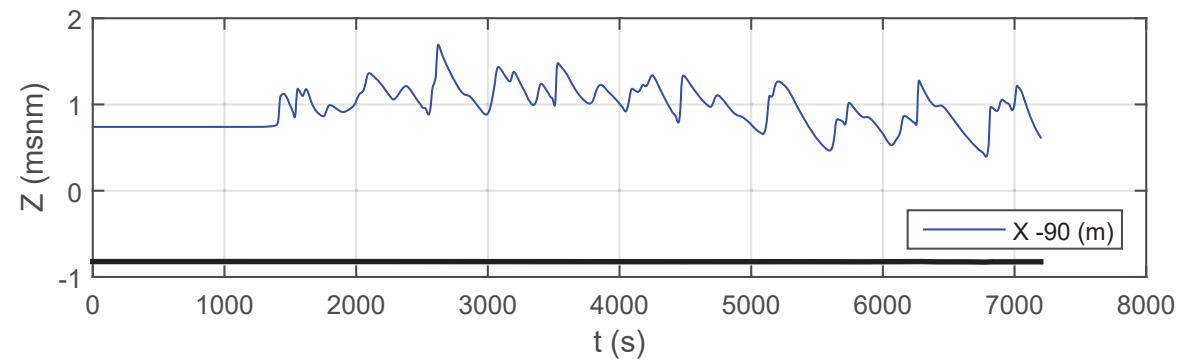
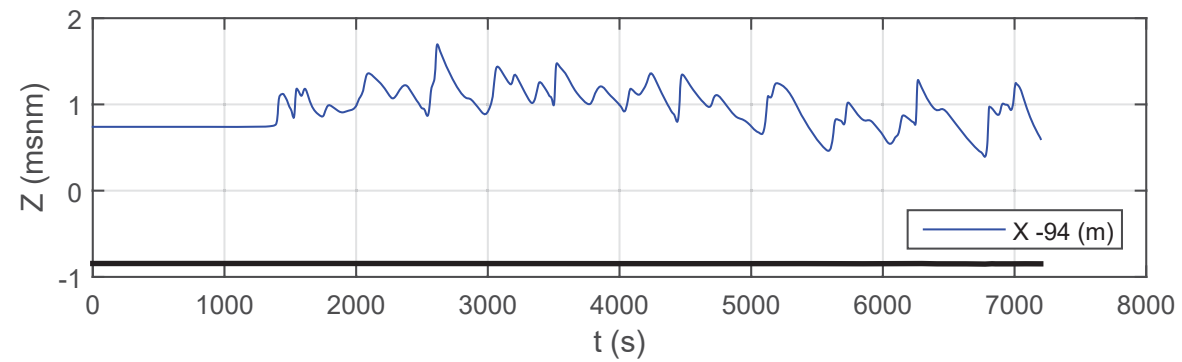
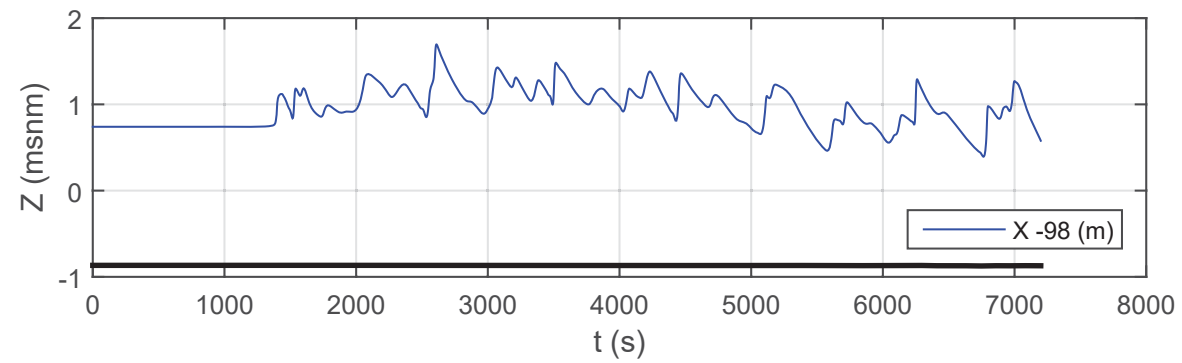
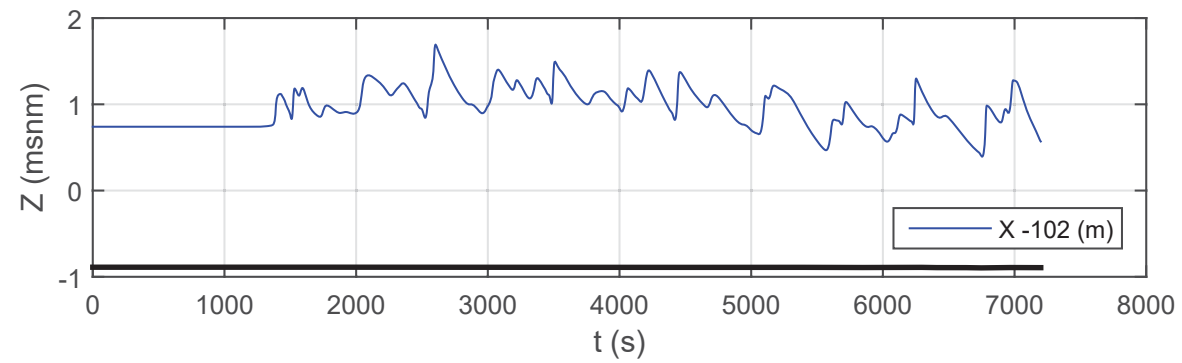


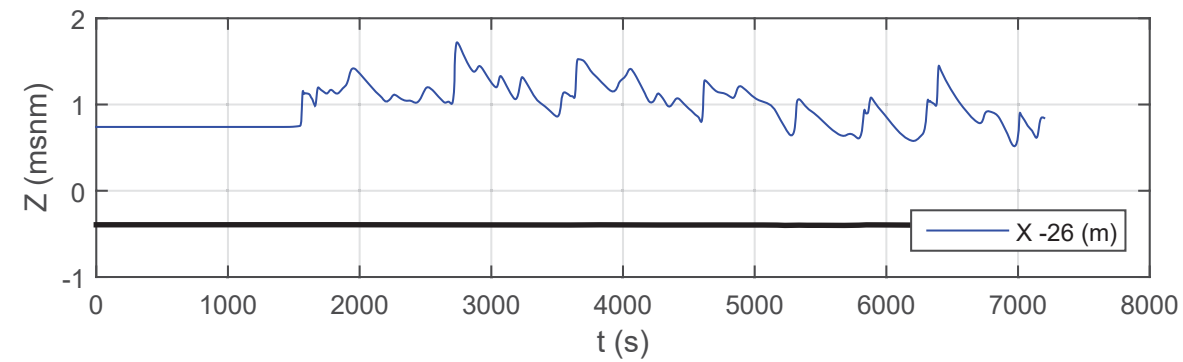
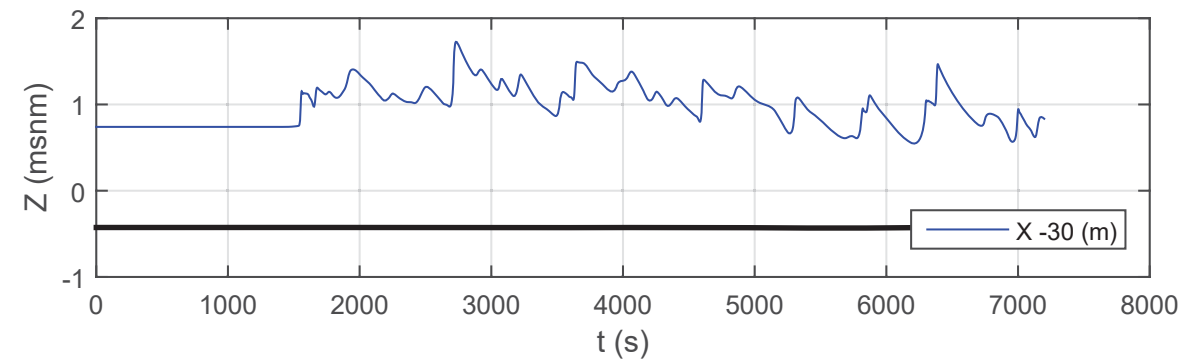
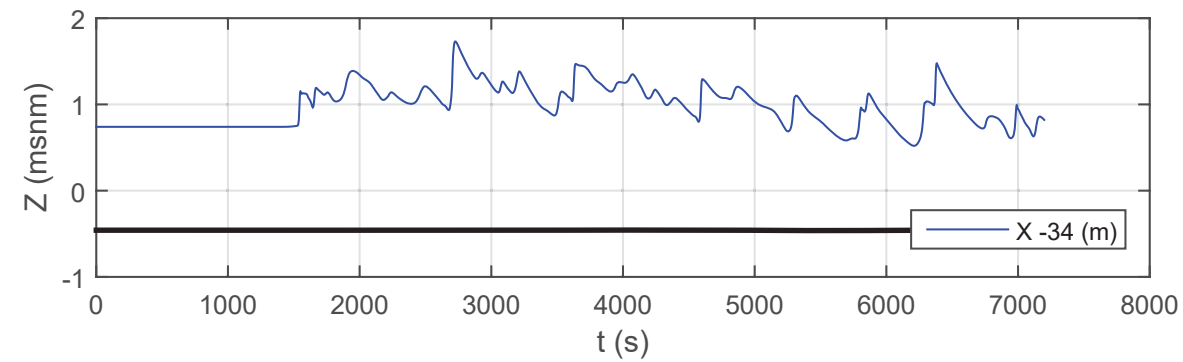
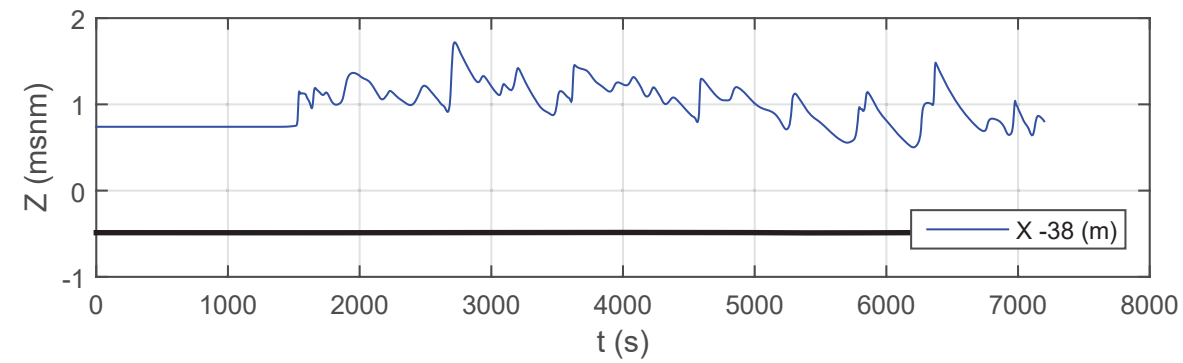
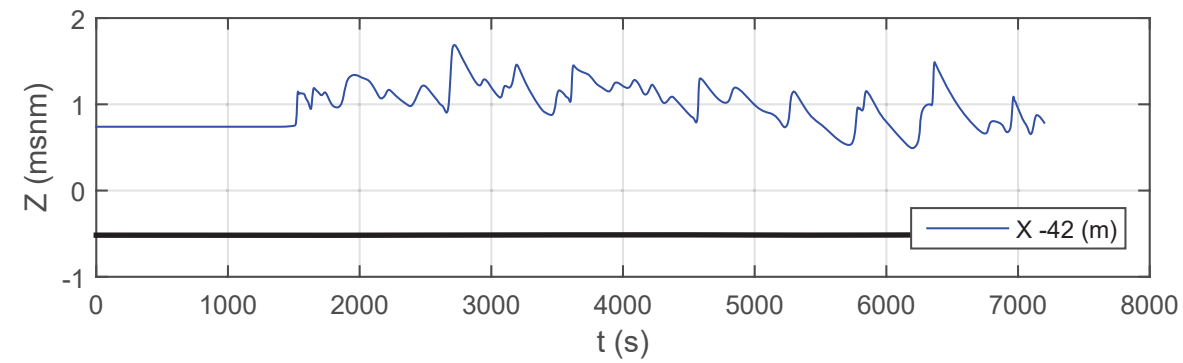
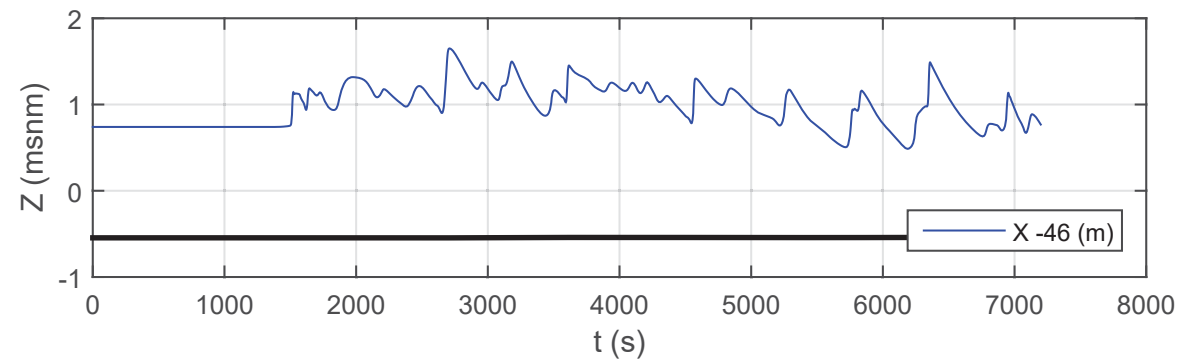
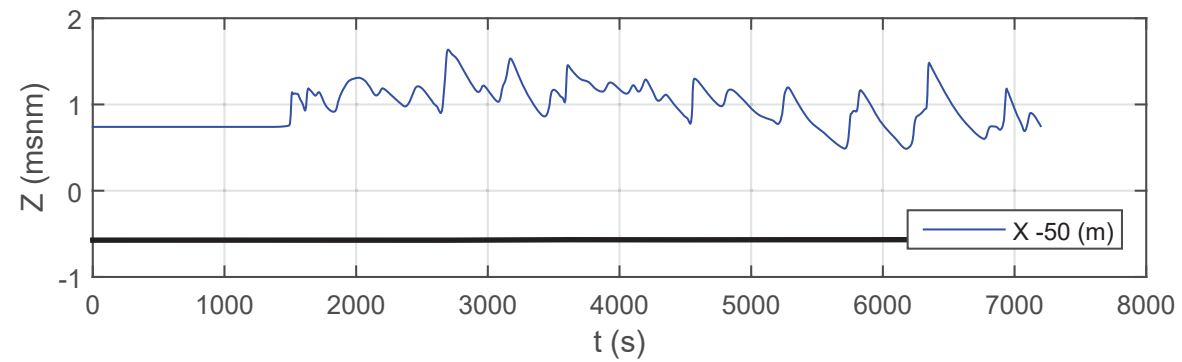
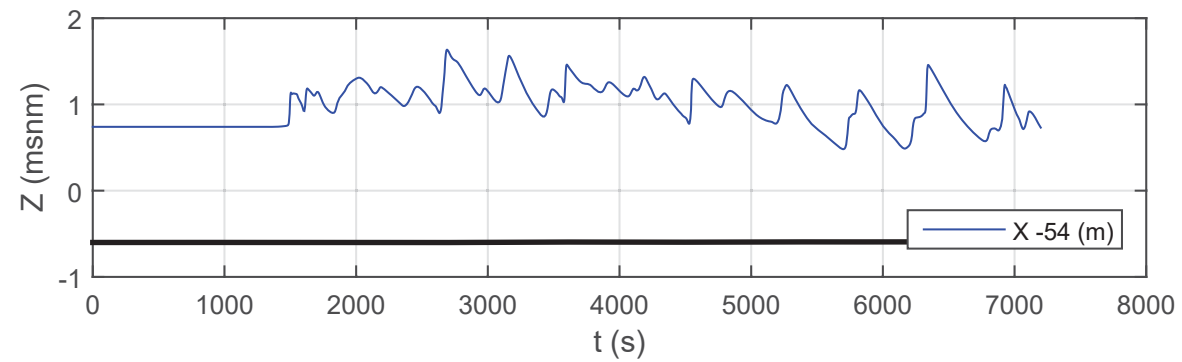
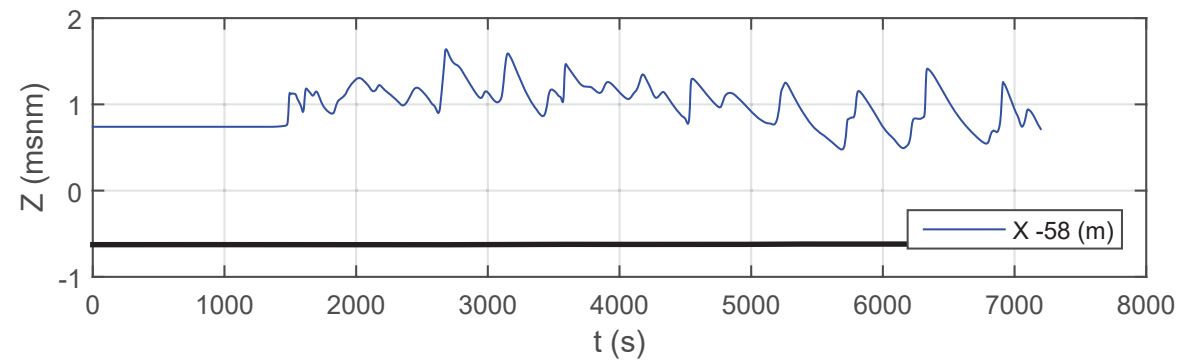
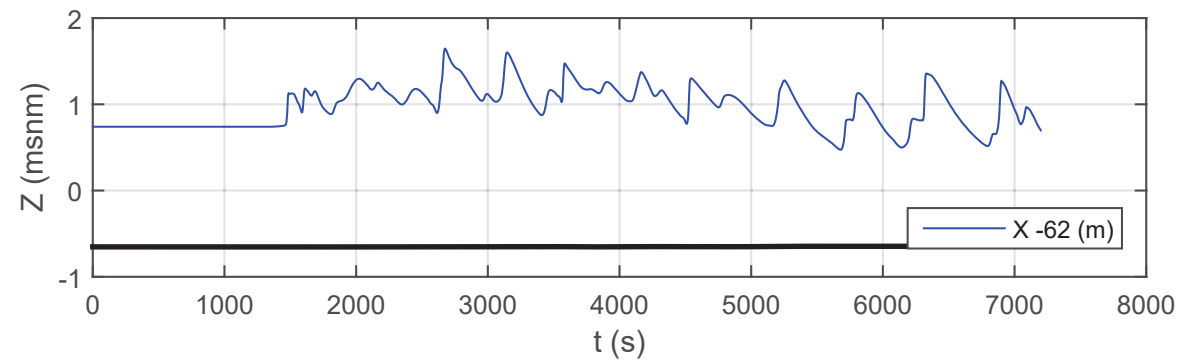


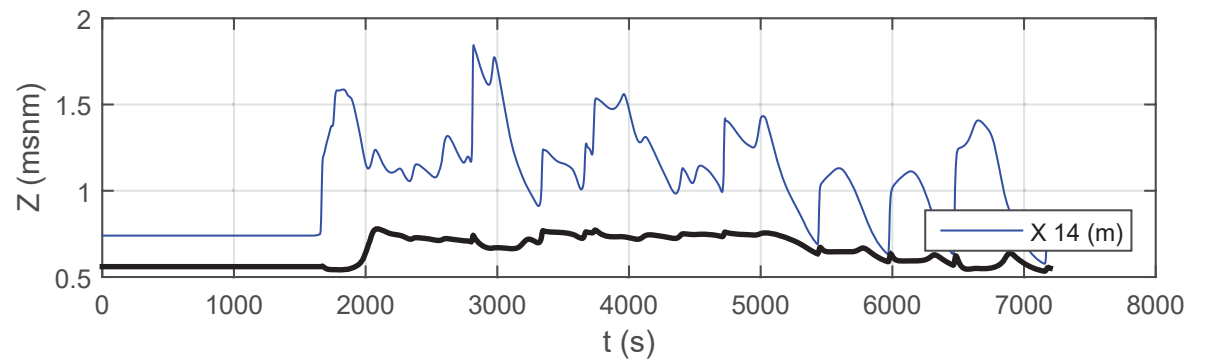
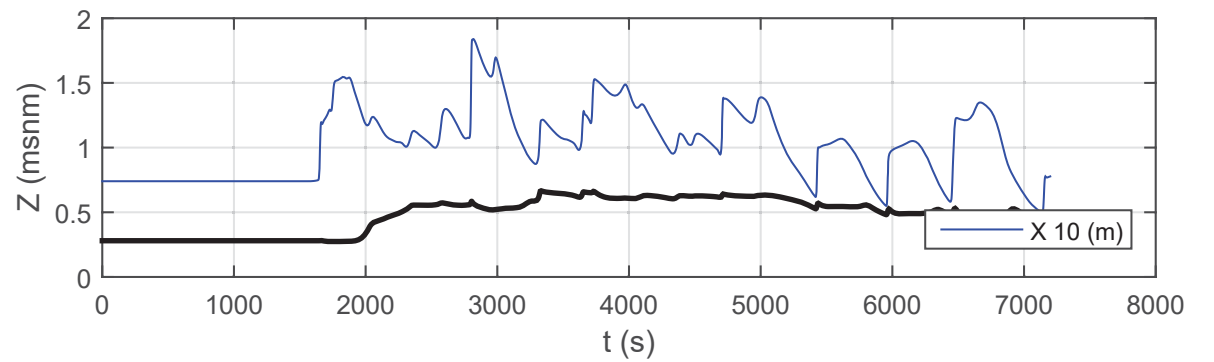
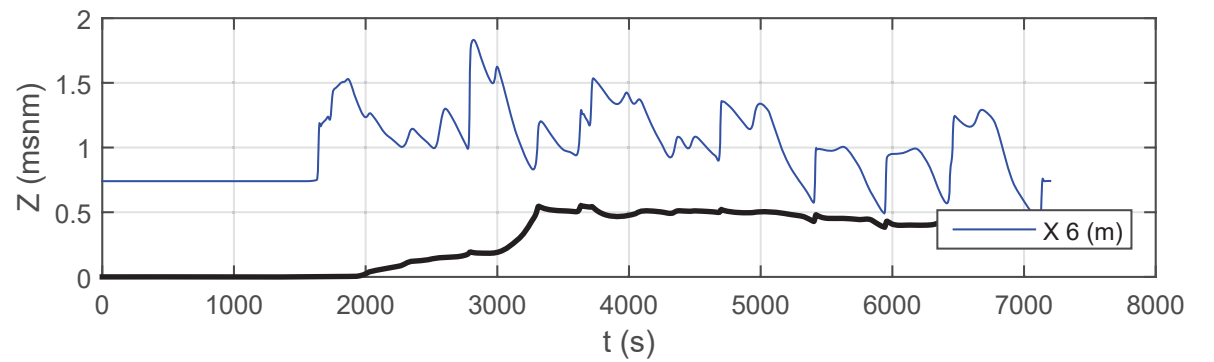
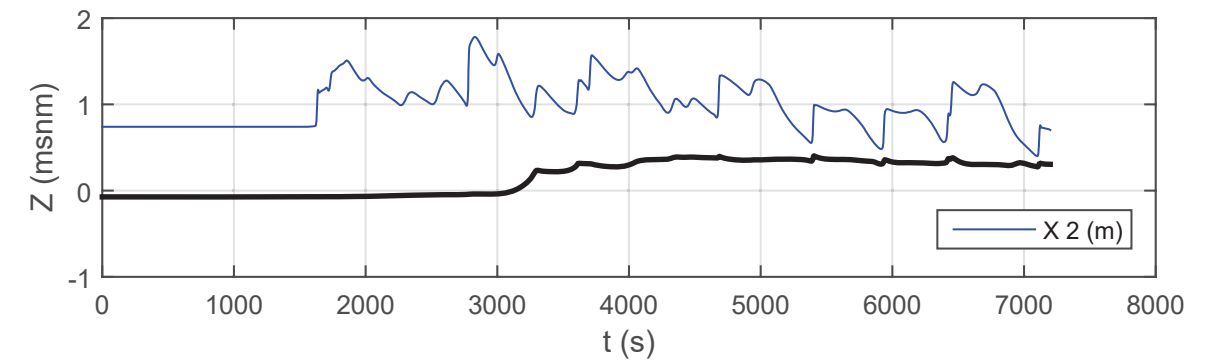
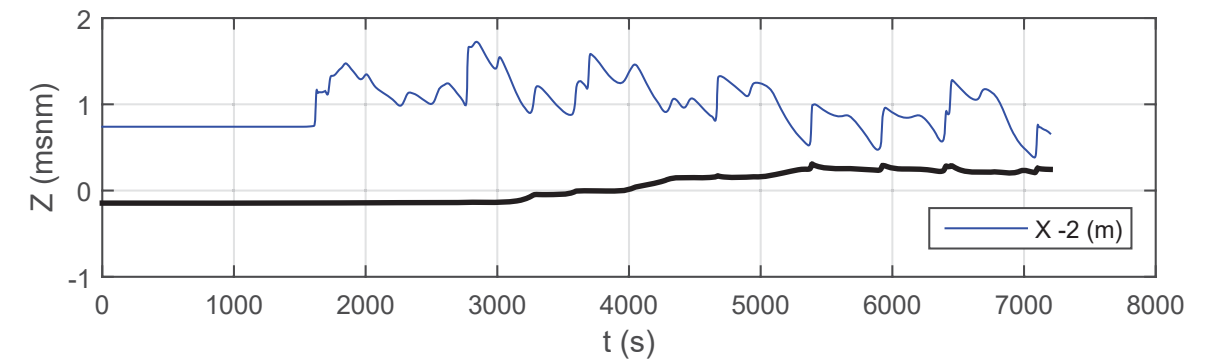
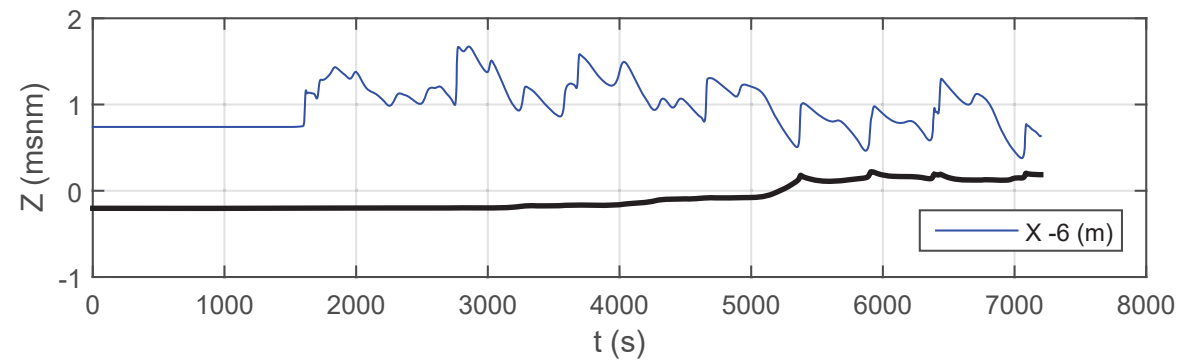
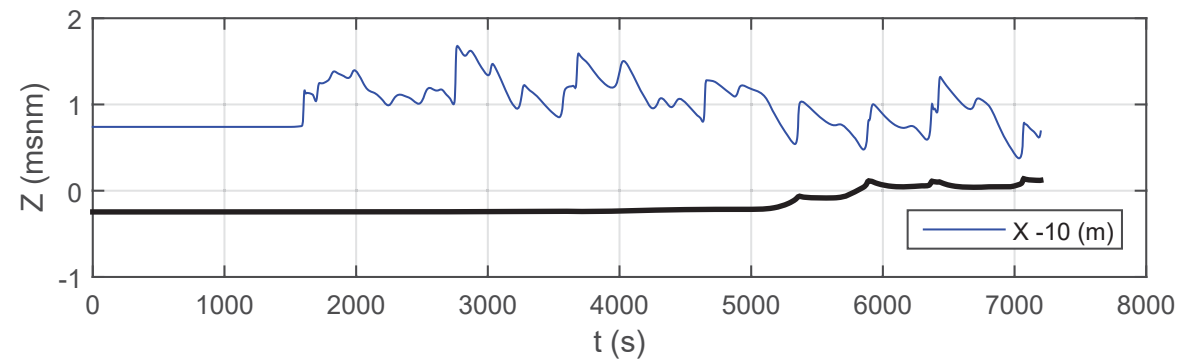
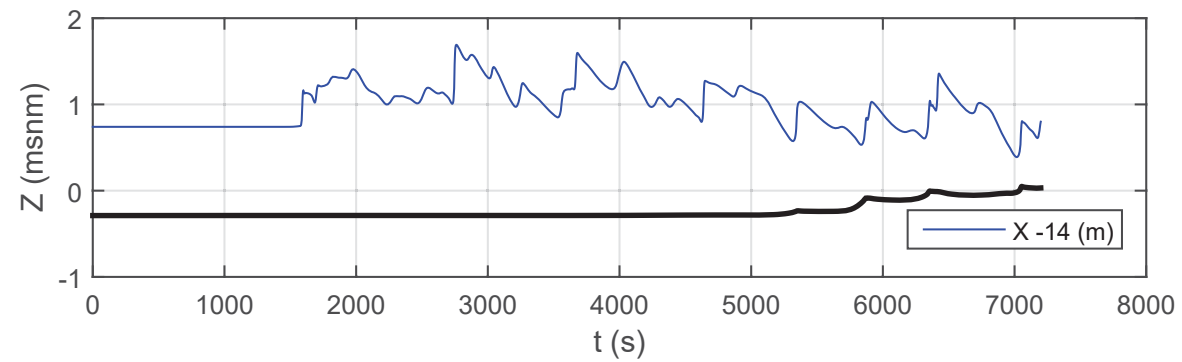
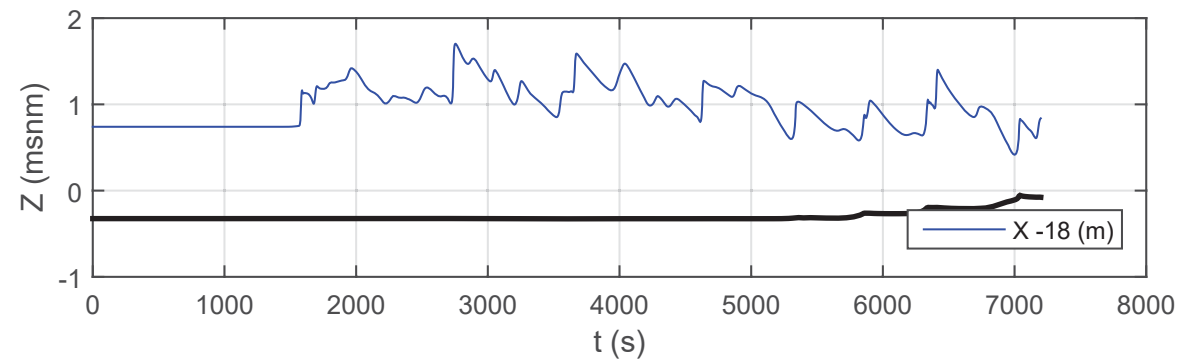
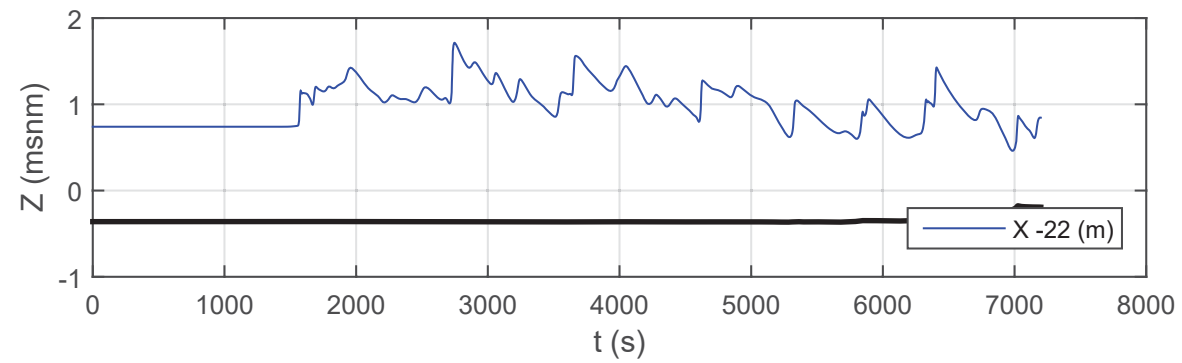
ANEJO 7. MODELO Estado actual series temporales de fondo

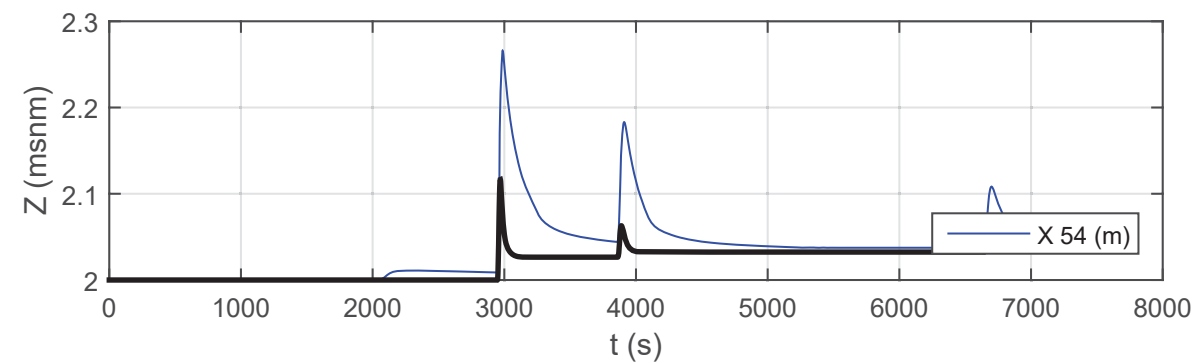
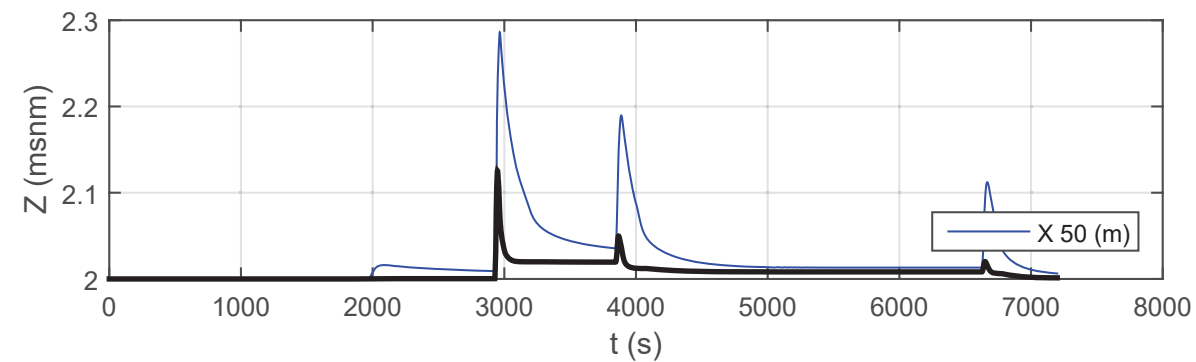
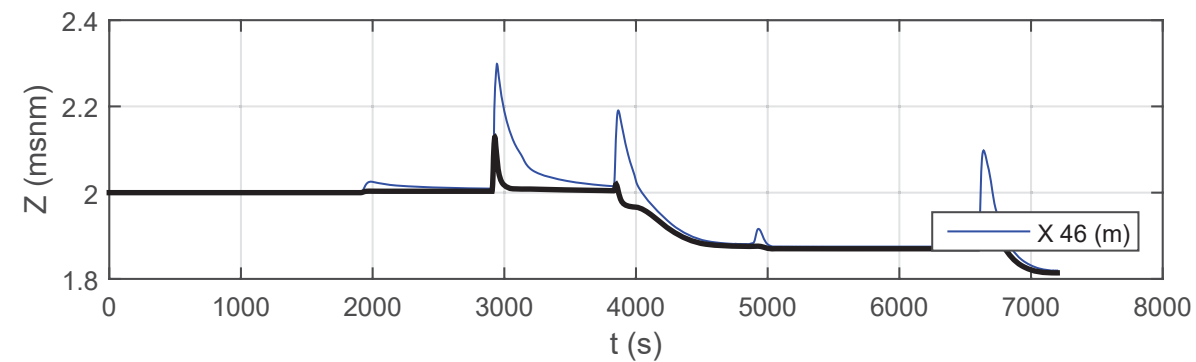
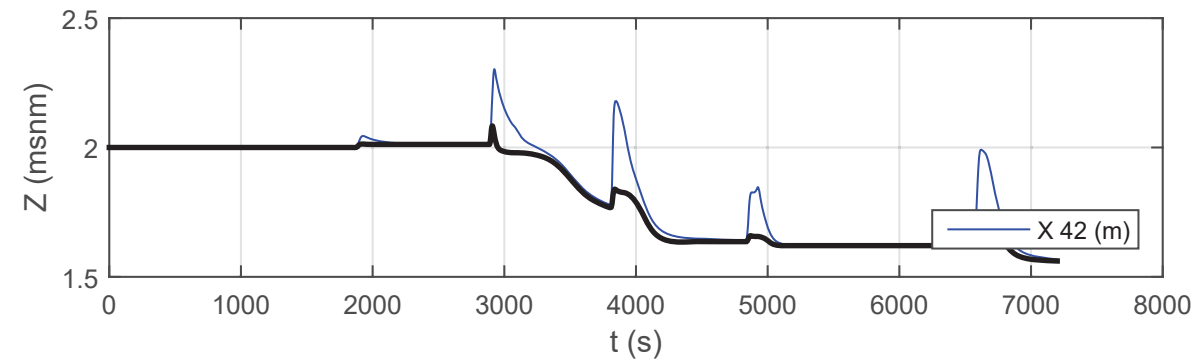
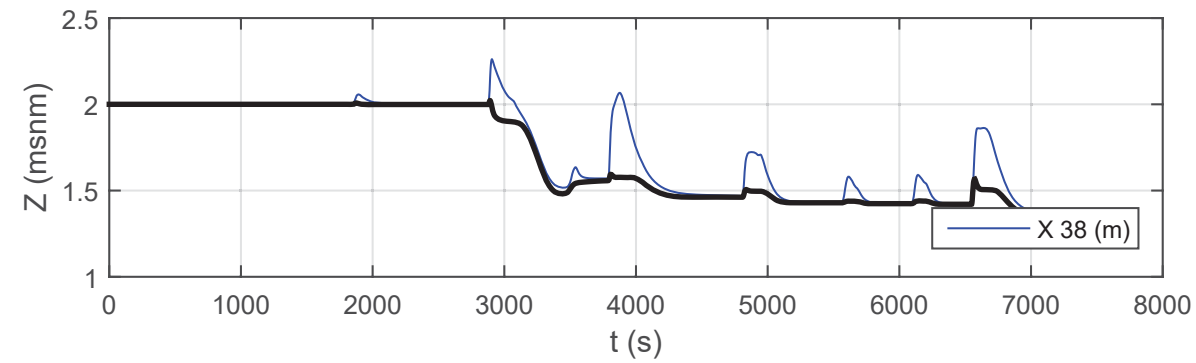
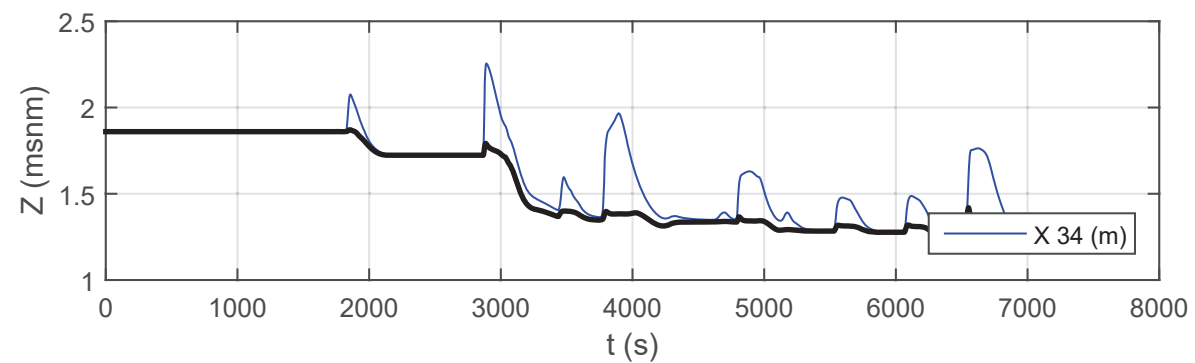
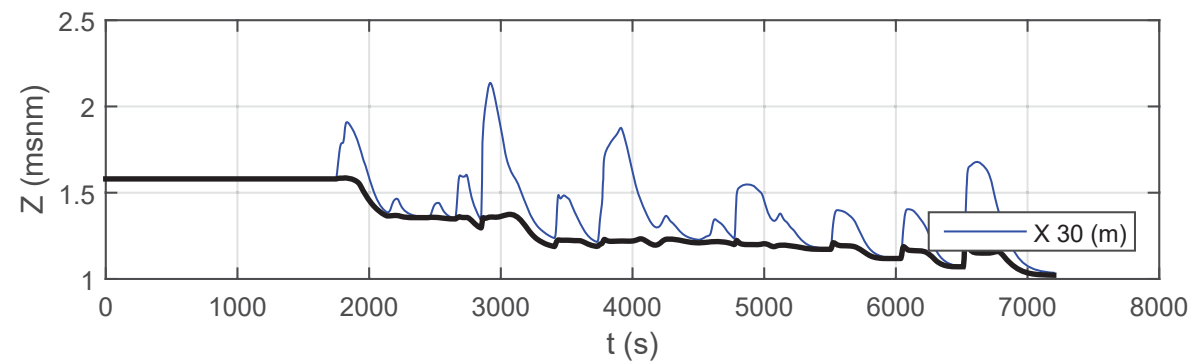
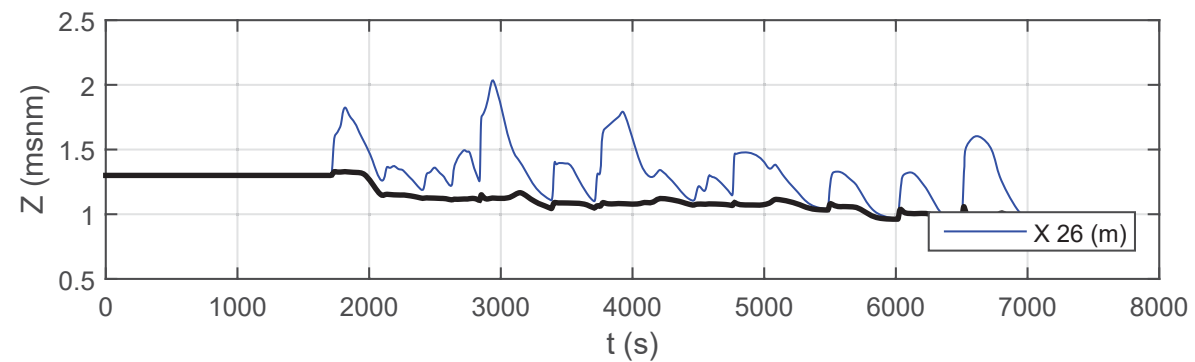
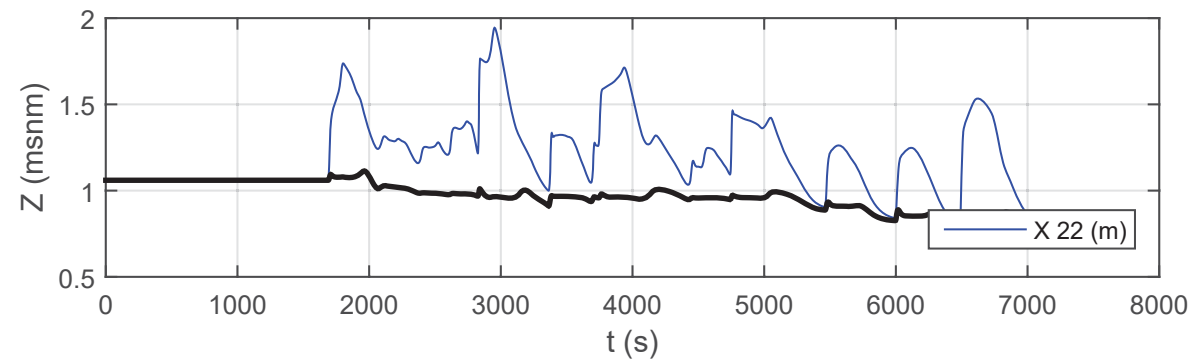
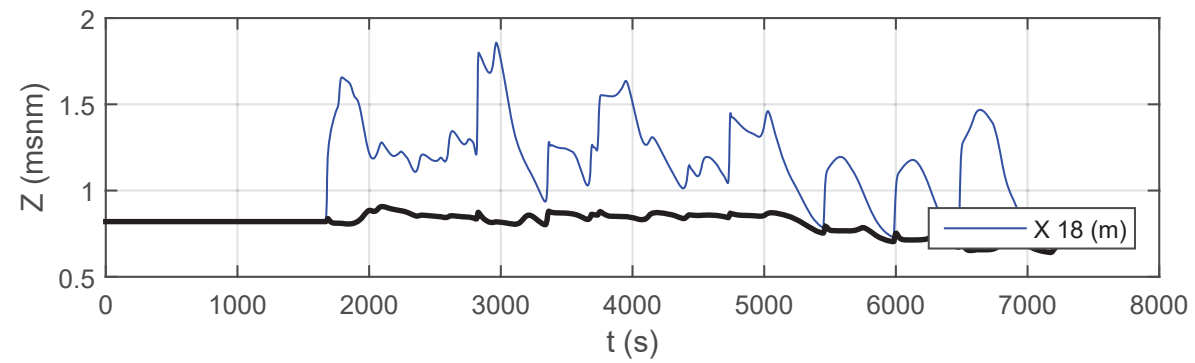


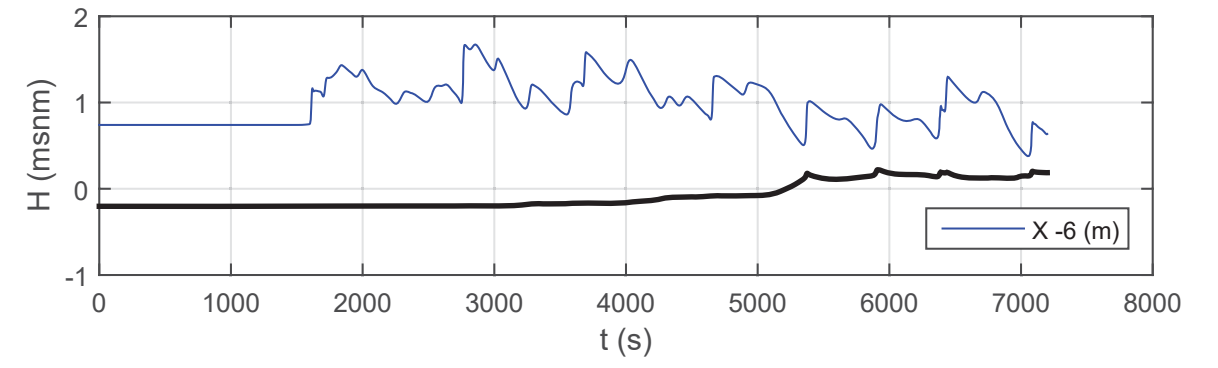
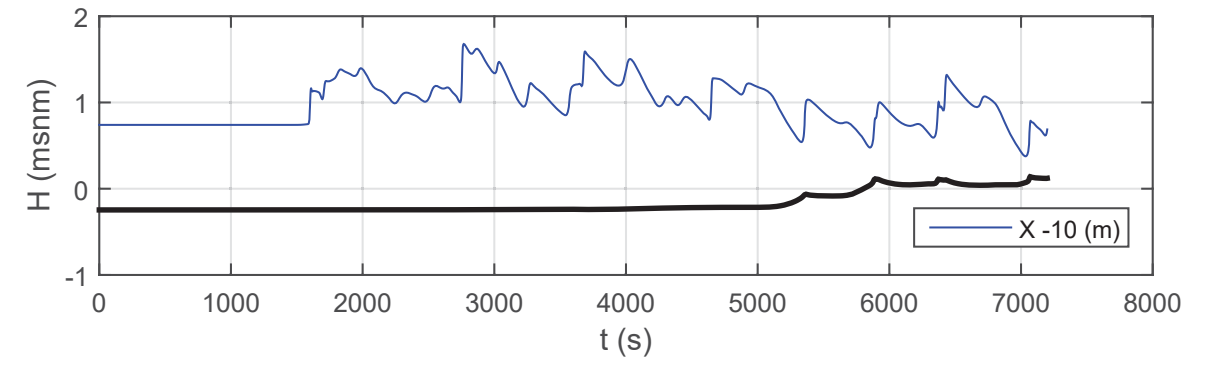
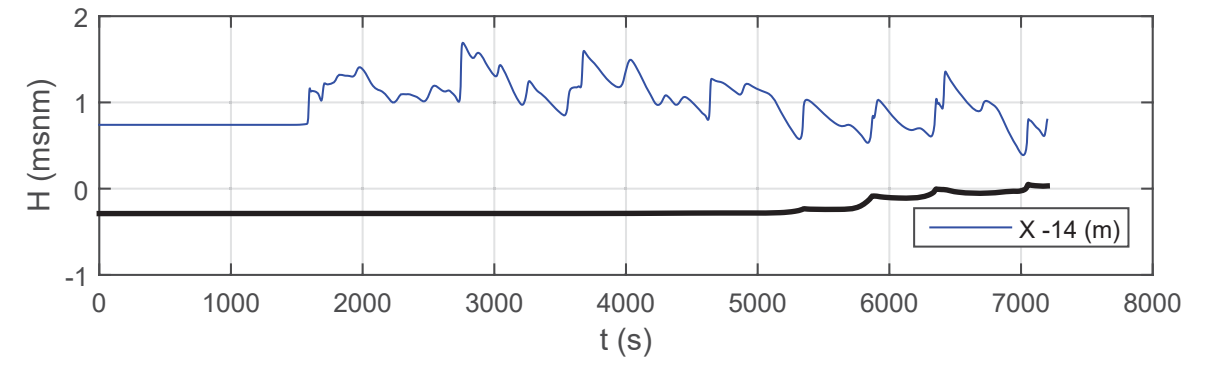
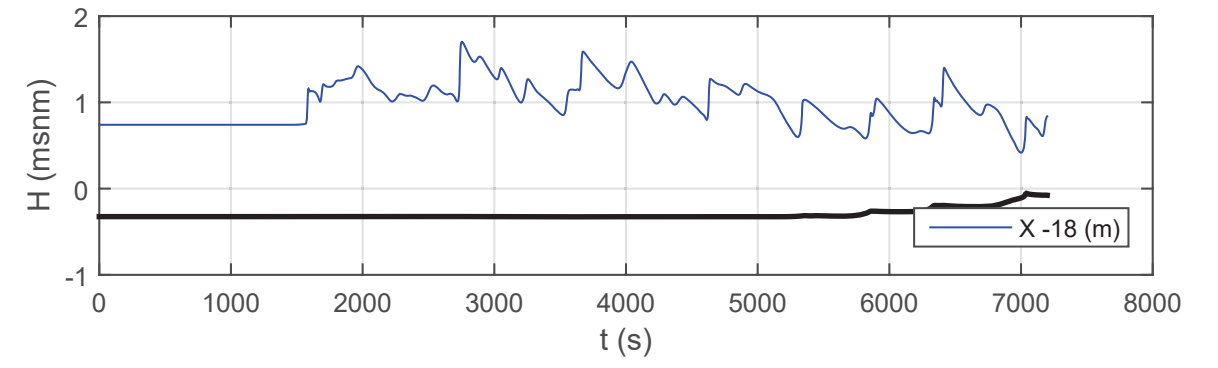
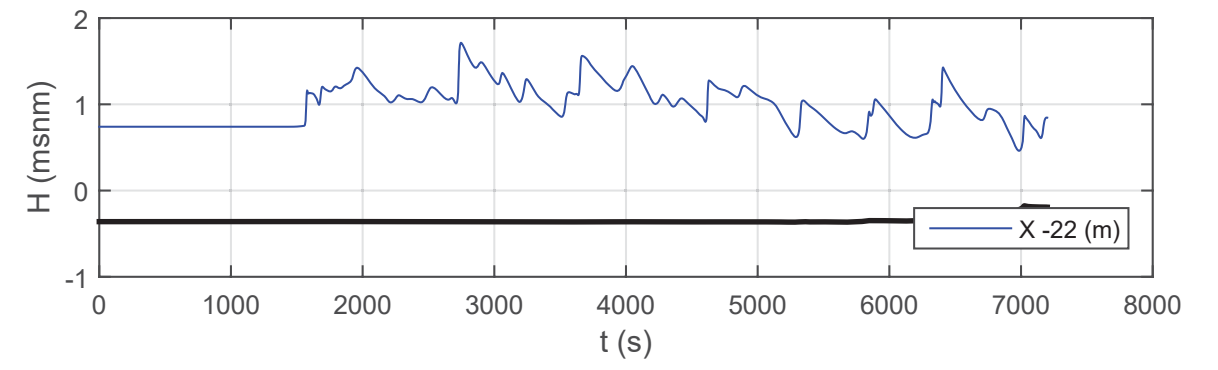
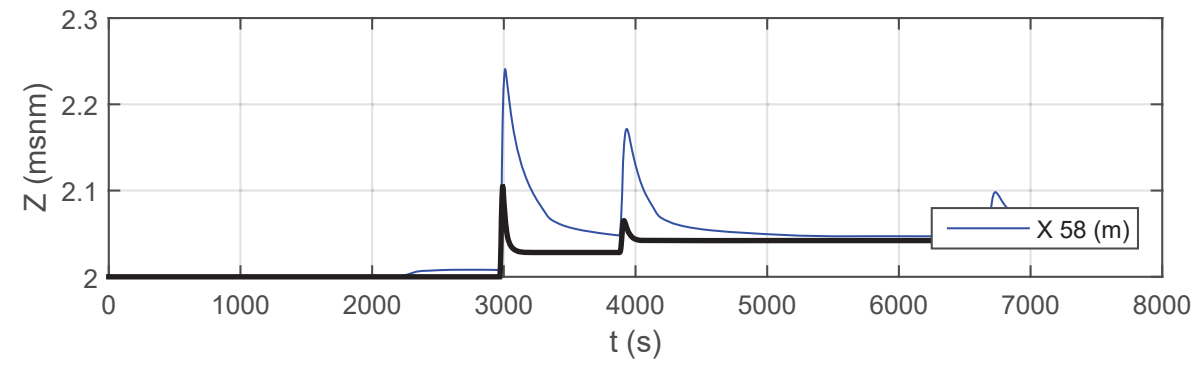


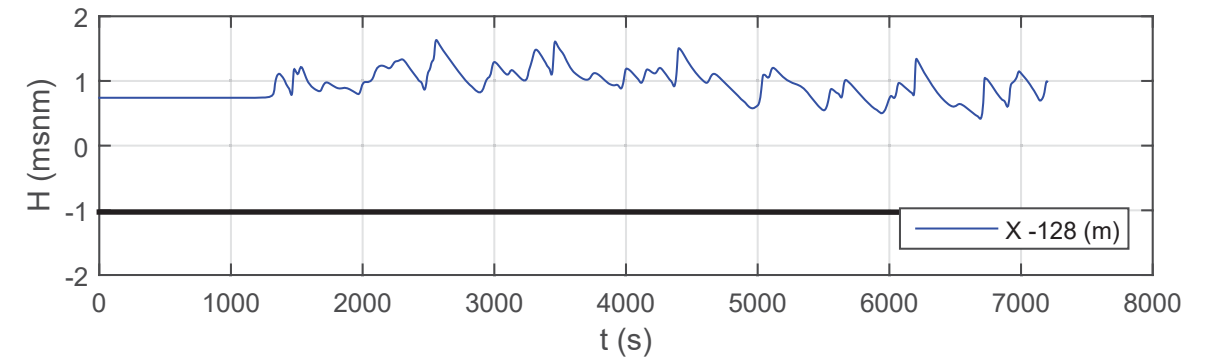
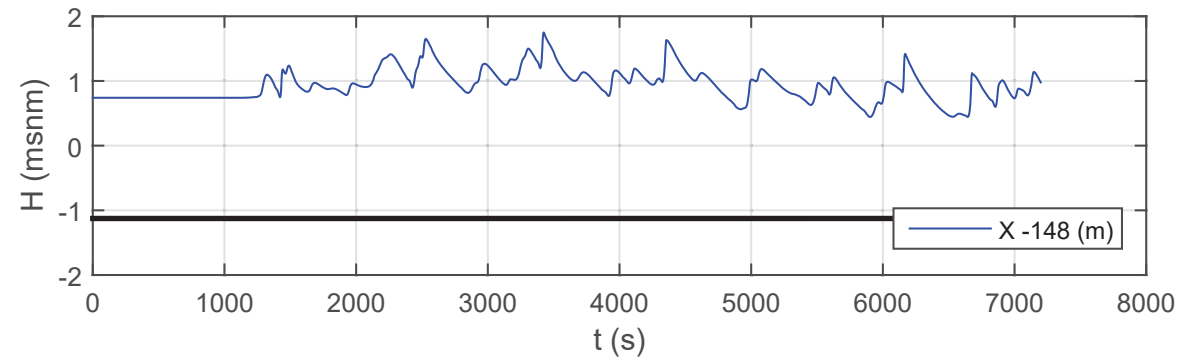
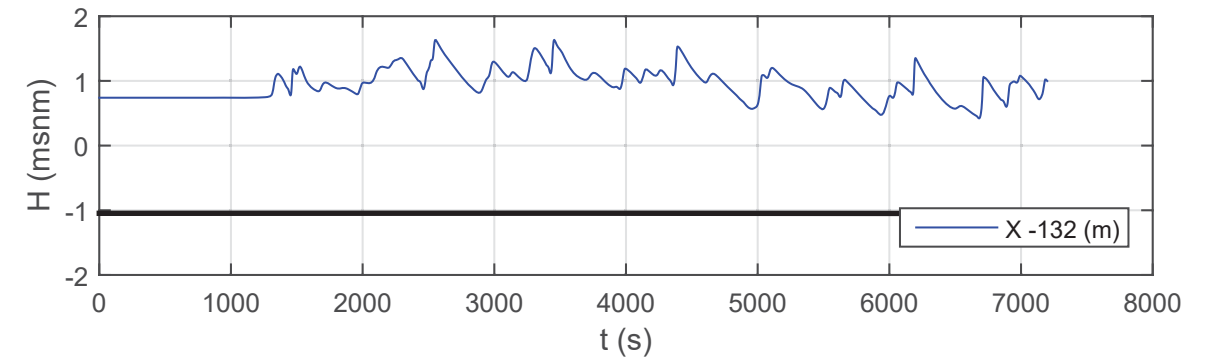
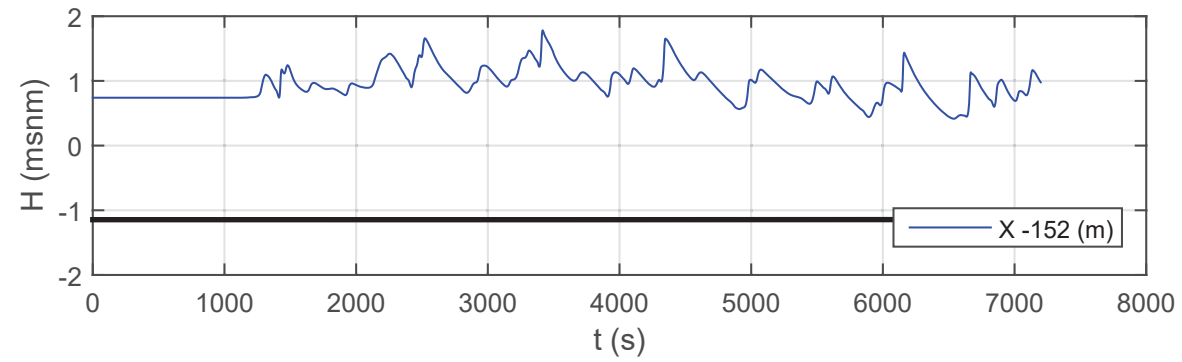
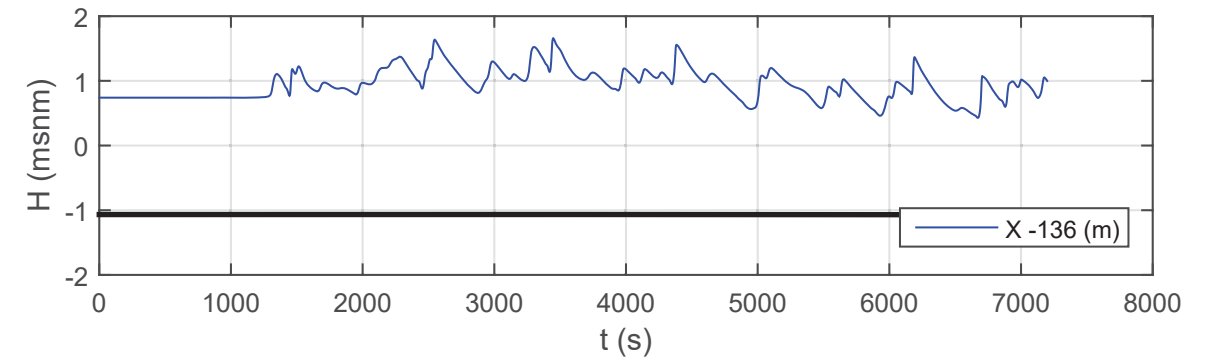
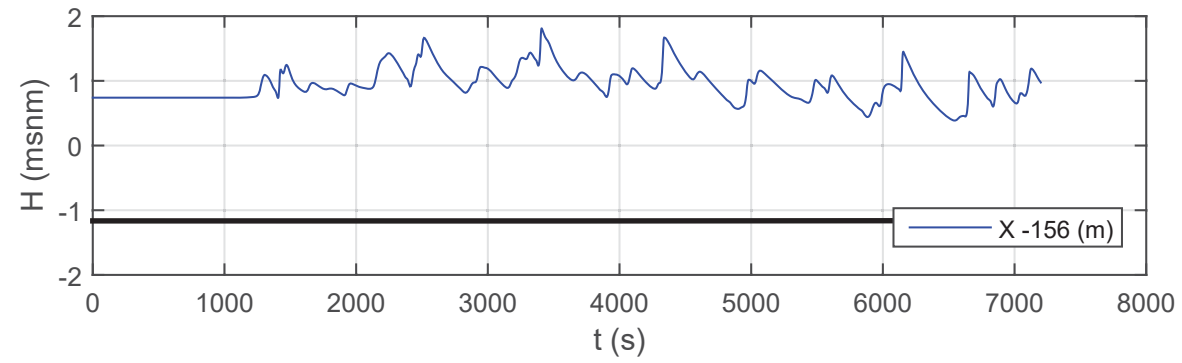
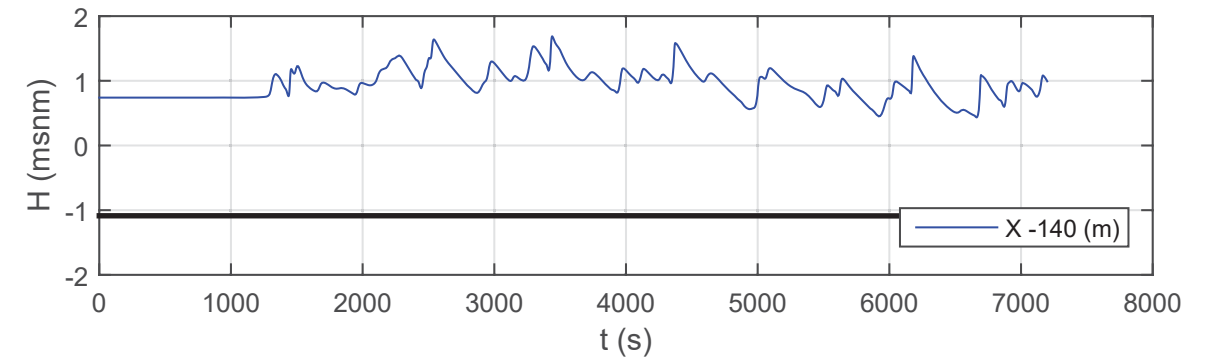
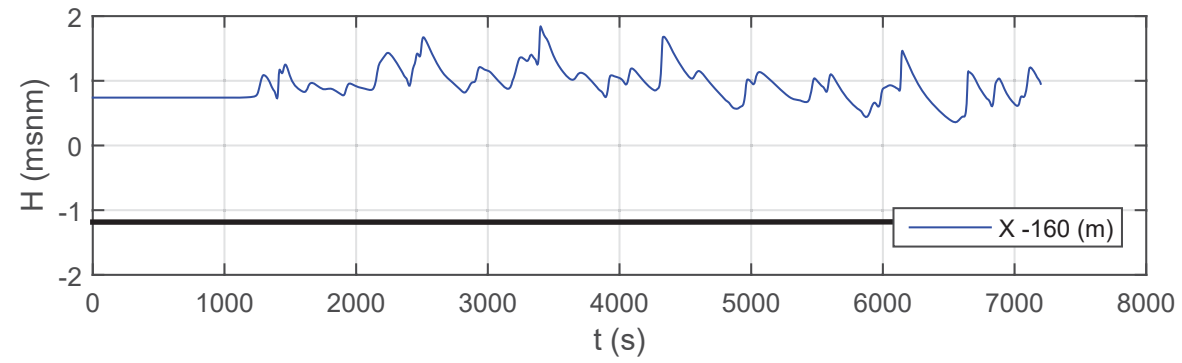
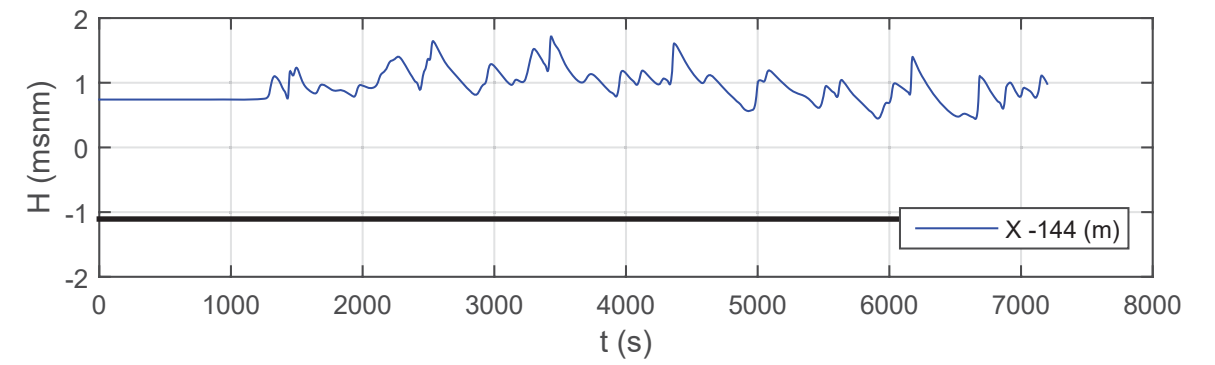
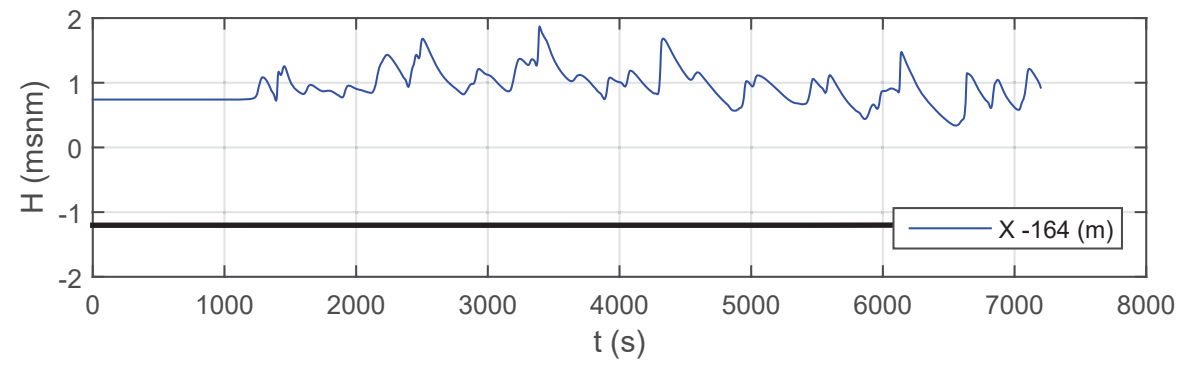


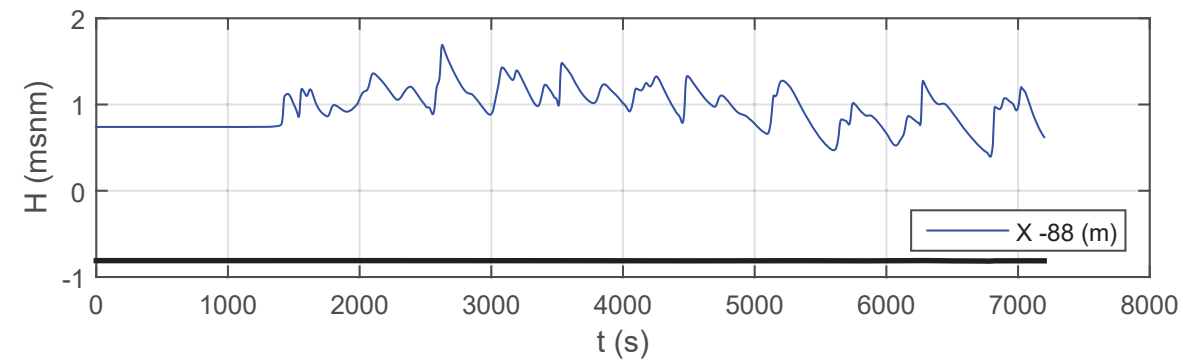
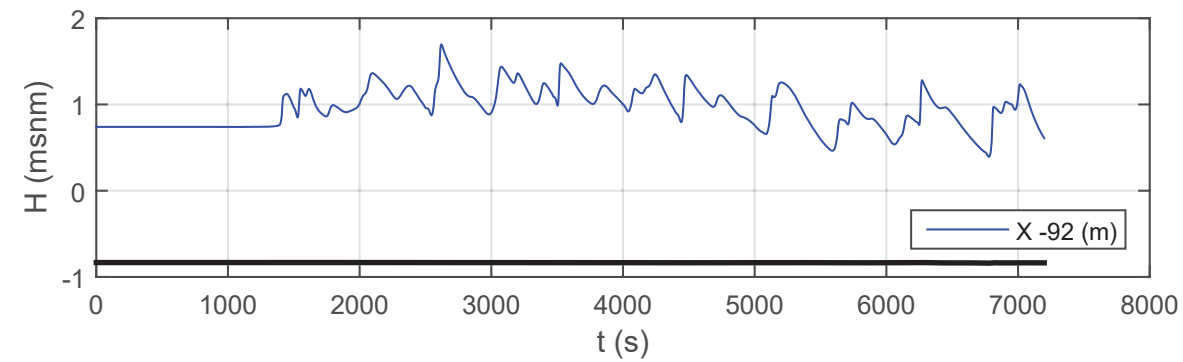
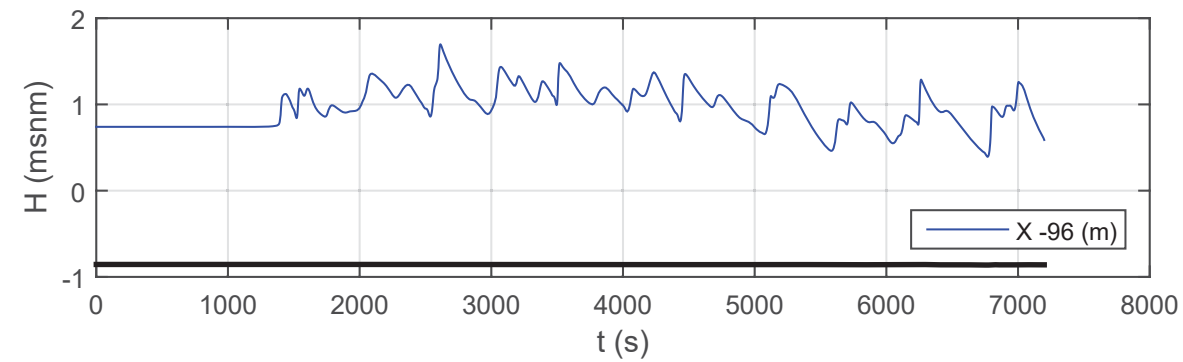
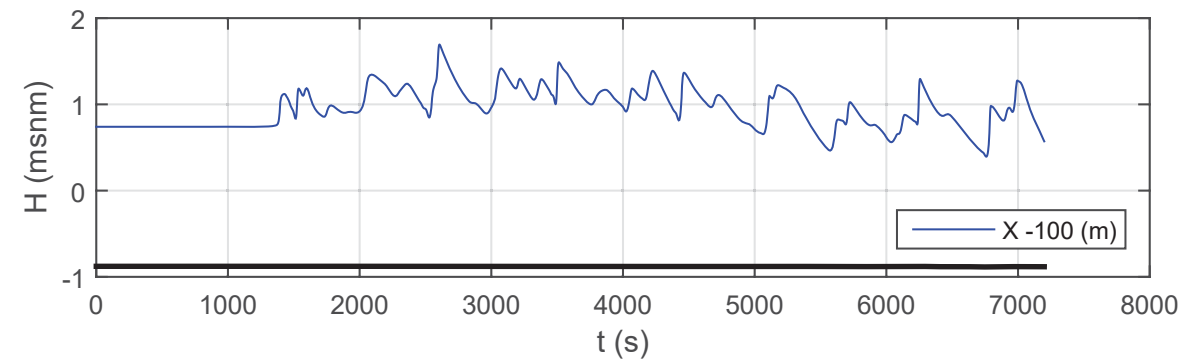
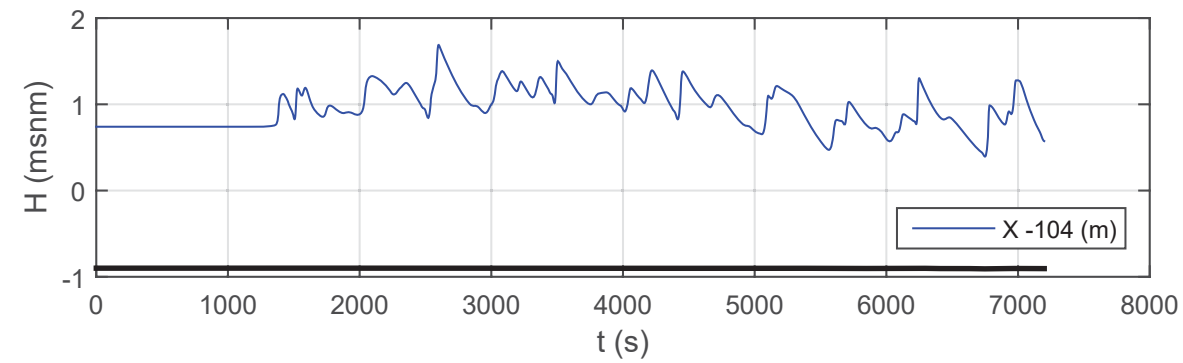
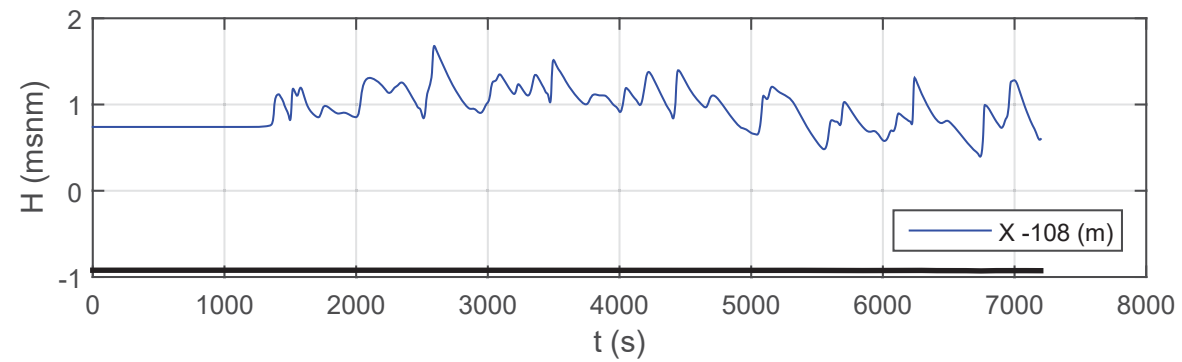
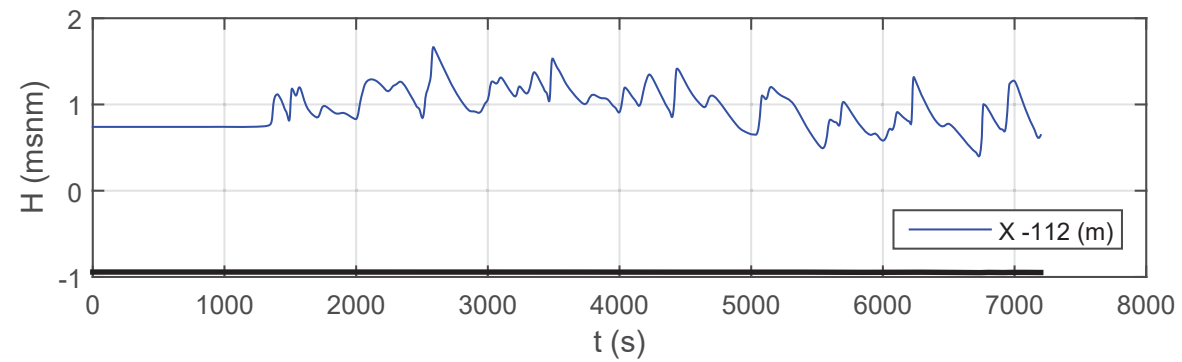
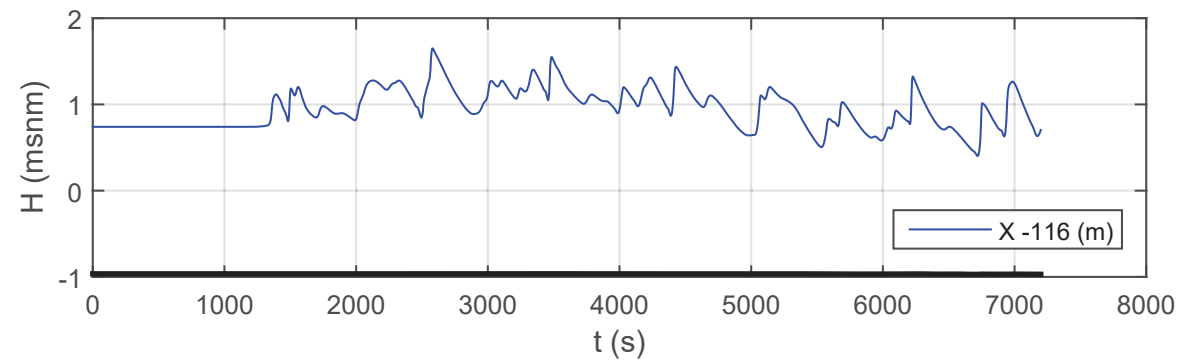
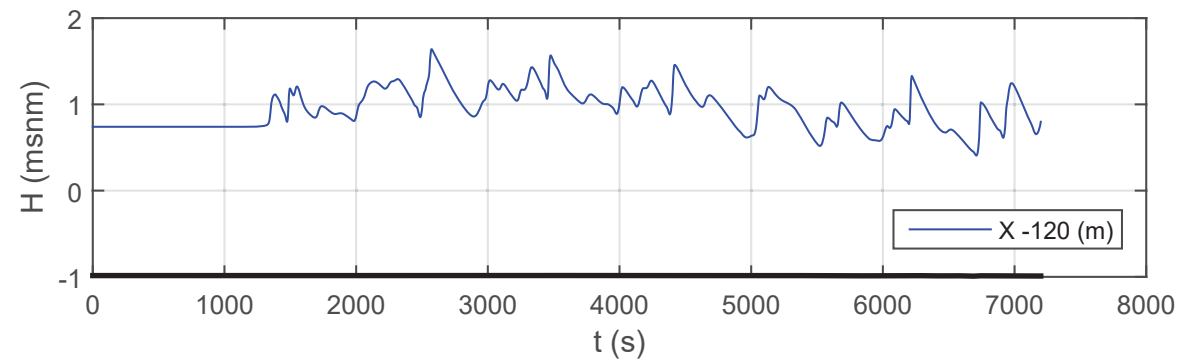
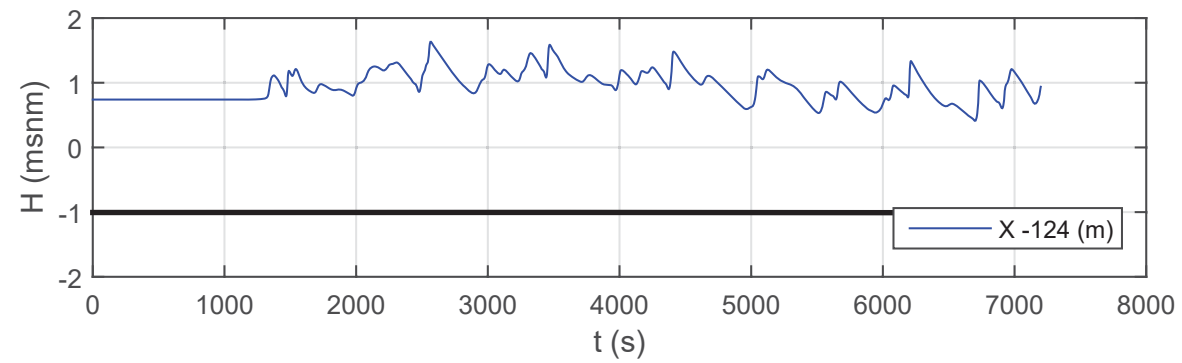


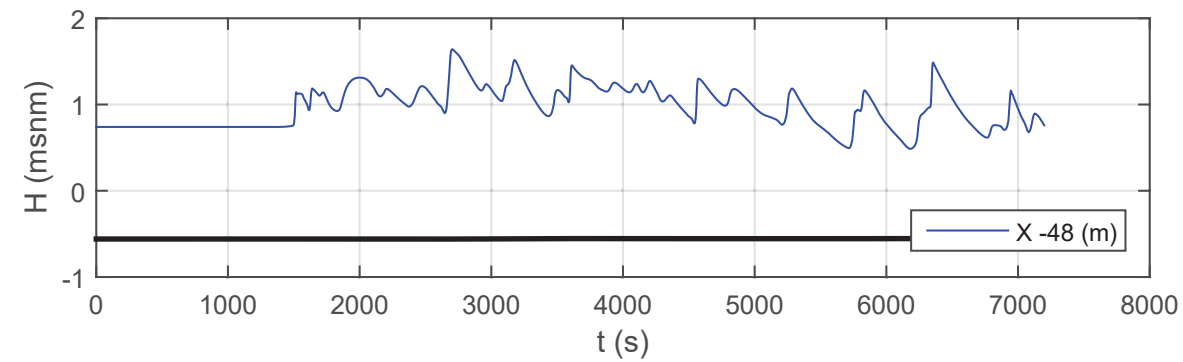
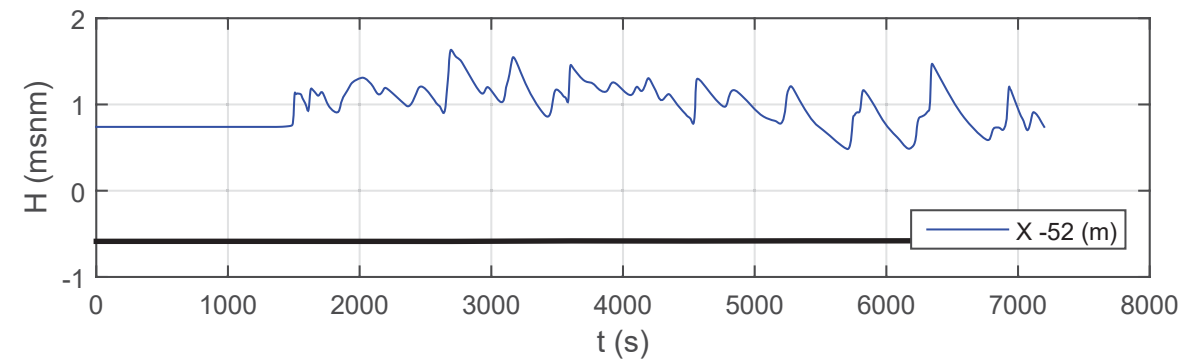
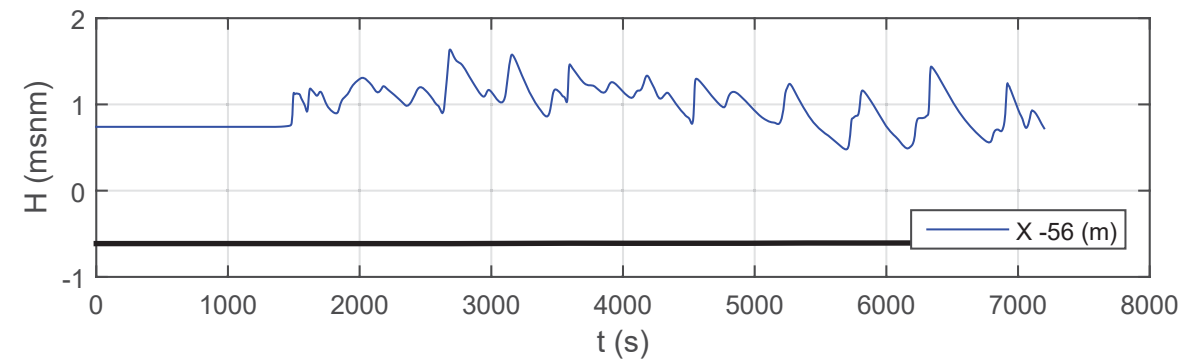
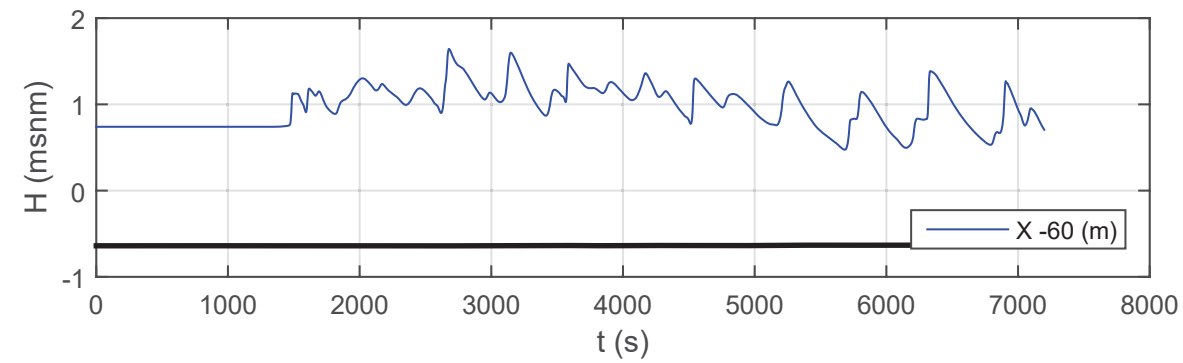
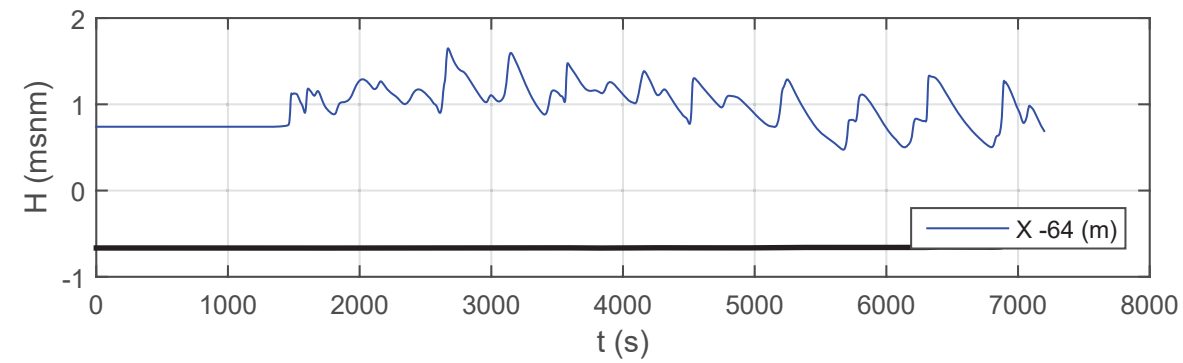
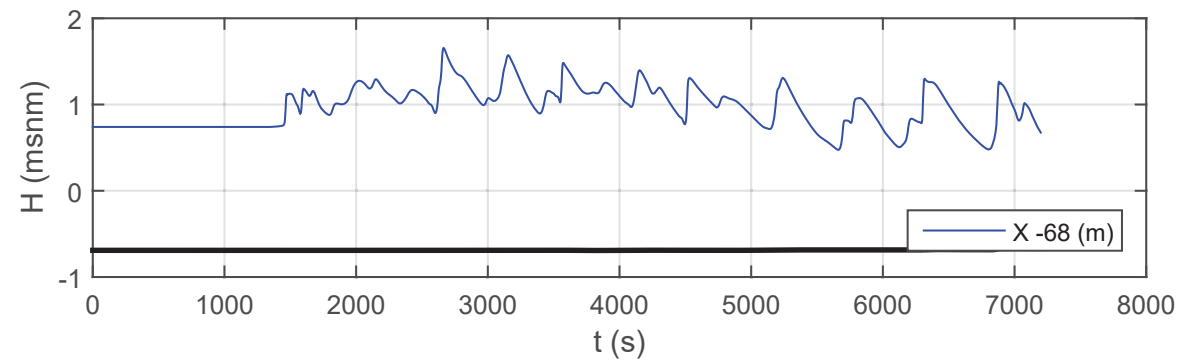
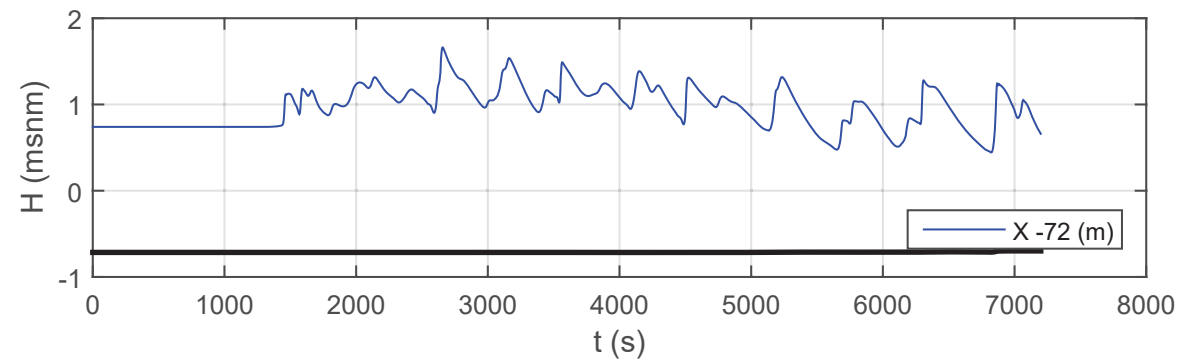
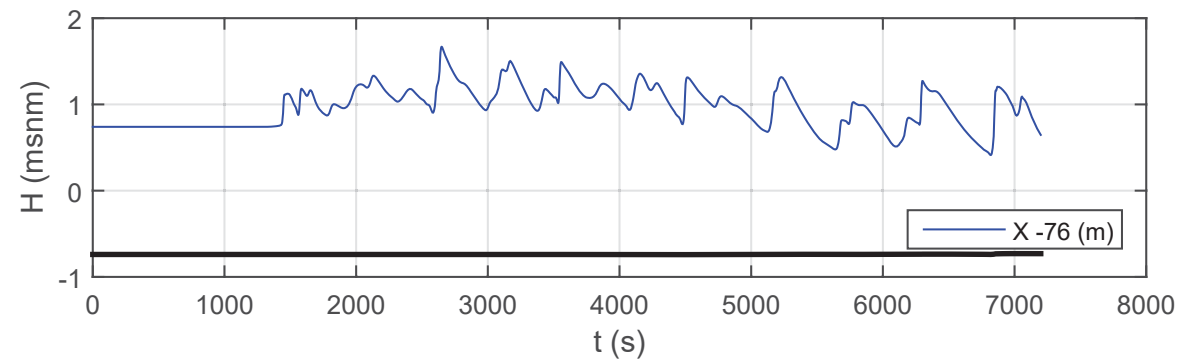
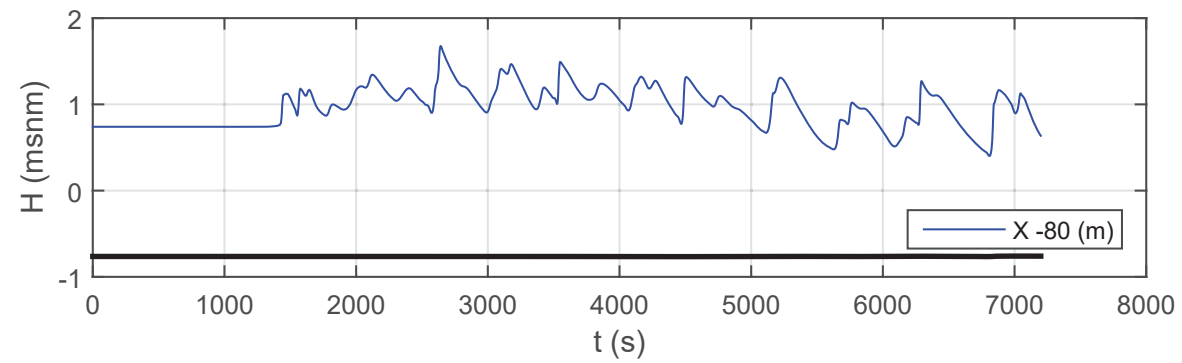
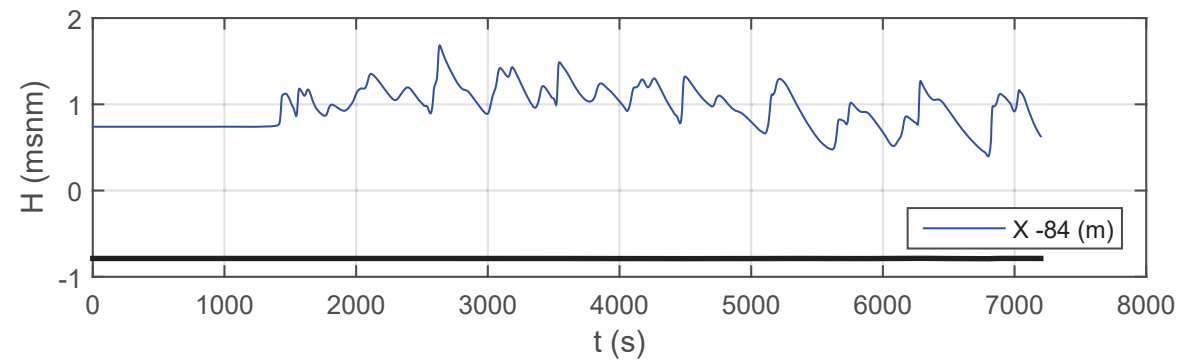


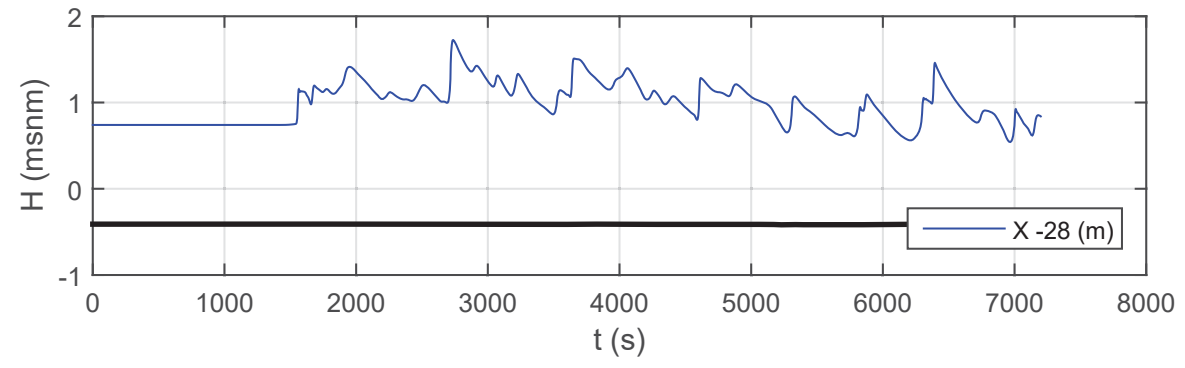
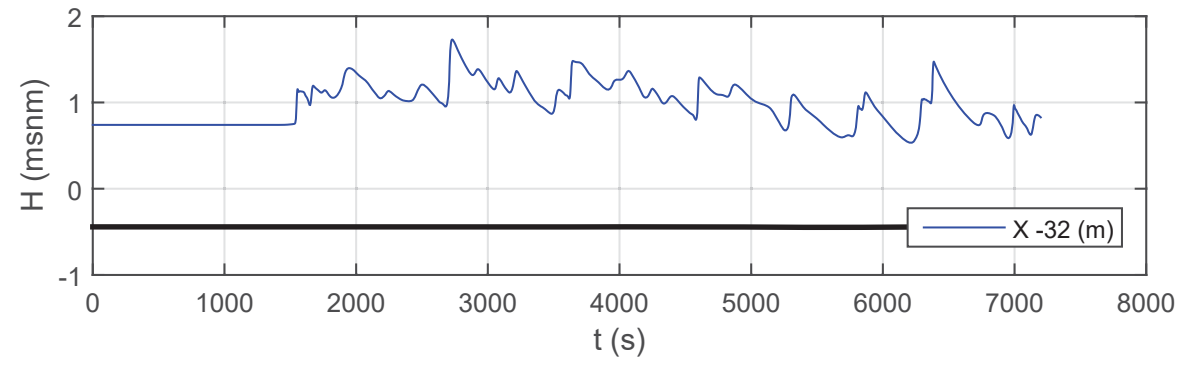
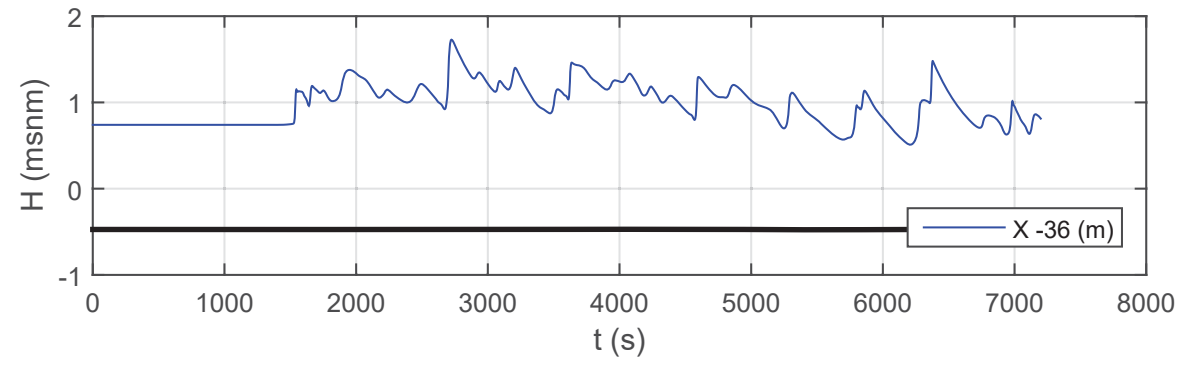
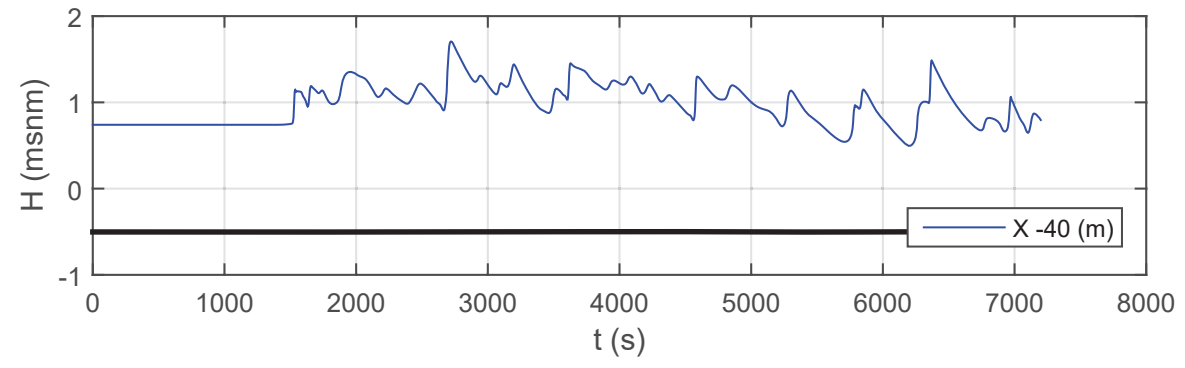
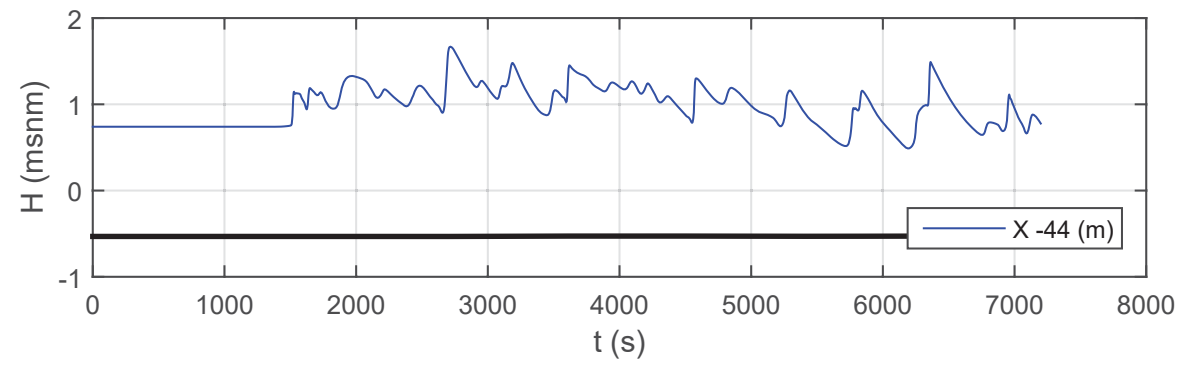












ANEJO 8. MODELO Estado actual series temporales de oleaje



